



Ana Rita Beja Rogado

Licenciada em Ciências da Engenharia
Eletrotécnica e de Computadores

Sistema de Agregação de Dados Provenientes de Fontes de Energia Renováveis

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Pedro Pereira, Professor Auxiliar, FCT NOVA

Coorientador: Fábio Januário, Investigador, CTS-UNINOVA

Júri:

Presidente: Doutor Luís Filipe dos Santos Gomes

Arguente: Doutor Rui Miguel Amaral Lopes

Vogal: Doutor Pedro Miguel Ribeiro Pereira



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro, 2019

Sistema de agregação de dados provenientes de fontes de energia renováveis

Copyright © Ana Rita Beja Rogado, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Esta dissertação é o resultado do contributo de várias pessoas, a quem agradeço pela sua ajuda, disponibilidade e apoio.

Em primeiro lugar agradeço ao meu orientador, professor Pedro Pereira, pelo incentivo, disponibilidade, apoio e orientação.

Agradeço ao meu coorientador, mestre Fábio Januário, pelos vários desafios que me ajudou a resolver e por ter disponibilizado o seu tempo para me ajudar sempre que necessário.

Obrigada ao professor José Ferreira e ao professor João Rosas por terem esclarecido as minhas dúvidas e por terem contribuído para ideias que acrescentaram valor ao projeto.

Um obrigado especial aos meus pais, avô e amigos que me acompanharam durante este percurso e que me deram apoio e motivação.

A todos eles dedico este trabalho.

Resumo

Ao longo dos anos, tem vindo a verificar-se um notável progresso tecnológico, acompanhando a evolução da sociedade e consequentemente originando novos desafios que, por sua vez, podem exigir a criação de novas ideias/conceitos. Por vezes estas inovações precisam de ser testadas de forma a validar o conceito subjacente num contexto real. Também o crescente aumento da procura pela energia elétrica tem sido pertinente, uma vez que são exigidos cada vez mais recursos energéticos para dar resposta às necessidades dos consumidores.

Assim, um dos desafios atuais é fazer uma correta gestão da produção e do consumo de energia, consoante as necessidades dos consumidores e a disponibilidade das fontes produtoras. Partindo destas duas necessidades, a solução proposta passa por desenvolver um projeto inserido no conceito de *Living Lab*, onde se tenciona desenvolver e integrar algumas tecnologias e testar a interação com os utilizadores. Pretende-se ainda, futuramente, utilizar o conhecimento adquirido para gerir a energia da melhor forma possível. Para isso, são fundamentais sistemas que permitam fazer a recolha dos dados, para obter uma referência dos níveis de energia produzida e consumida e dos valores meteorológicos, de forma a ajustar, sempre que possível, o consumo e a produção de energia face aos dados recolhidos, à capacidade das fontes produtoras, aos valores meteorológicos e às necessidades dos utilizadores.

Esta dissertação tem como finalidade a construção de um sistema de aquisição e agregação de dados provenientes de fontes de energia renováveis, nomeadamente dados de produção e de consumo de energia e também dados meteorológicos, de forma a criar um *Living Lab*, onde os utilizadores podem ter acesso aos dados recolhidos em tempo real e em formato de histórico, dando-lhes a capacidade de interagir com o sistema.

Palavras-chave: Inovação, *Living Labs*, Energia Elétrica, Gestão de Energia, Energia Renovável.

Abstract

Over the years, there has been a remarkable technological progress, following the evolution of society and giving rise to new challenges that, in turn, may require the creation of new ideas/concepts. Sometimes, these innovations need to be tested to validate the underlying concept in a real context. Also, the increasing demand for electricity has been relevant as more and more energy resources are required to meet the needs of consumers.

Thus, one of the current challenges is to properly manage the production and consumption of energy, depending on the needs of consumers and the availability of the sources. Based on these two needs, the proposed solution involves developing a project within the concept of *Living Lab*, where it is intended to develop and integrate some technologies and test the interaction with users. In the future, it is also intended to use the knowledge acquired to manage energy in the best way possible. For this purpose, data collection systems are essential to obtain a reference on the levels of energy produced and consumed and the meteorological values, in order to adjust, whenever possible, energy consumption and production against the data collected, the capacity of producing sources, the meteorological values and the needs of users.

This dissertation aims to build a system for the acquisition and aggregation of data from renewable energy sources, namely production and energy consumption data as well as meteorological data, in order to create a *Living Lab*, where users can have access to data collected in real time and in historical format, giving them the ability to interact with the system.

Keywords: Innovation, *Living Labs*, Electricity, Energy management, Renewable Energy.

Conteúdo

Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract.....	vii
Conteúdo.....	ix
Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas	xiii
Lista de Acrónimos.....	xv
1 Introdução.....	1
1.1 Motivação e Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos	3
2 Estado de Arte	5
2.1. Descrição de Living Labs existentes	5
2.1.1. Projeto Sensible EDP.....	6
2.1.2. Sistema de monitorização e controlo automático de energia para edifícios	11
2.1.3. “How can We tackle Energy Efficiency in IoT Based Smart Buildings?” ..	16
2.1.4. ZEB <i>Living Laboratory</i>	23
2.2. Comparação entre Living Labs mencionados	26
2.3. Standards e protocolos de comunicação associados a Living Labs	28
3 Parte conceptual do sistema	31
3.1. O sistema como um Living Lab.....	31
3.2. Descrição do modelo conceptual do sistema.....	32
3.3. O protocolo de comunicação modbus	35
4 Implementação.....	41
4.1. Descrição dos componentes do sistema	41
4.1.1. Estação meteorológica.....	44
4.1.2. Datalogger.....	46
4.1.3. Sistemas de medição do consumo de energia elétrica	48
4.1.4. Produção de energia elétrica	49
4.1.5. Analisadores de energia.....	53
4.1.6. Conversor serie para USB.....	53
4.1.7. Raspberry PI	55
4.1.8. Display Raspberry PI.....	56
4.1.9. Serviço de gestão de bases de dados.....	56

4.2.	Agregação de dados	57
4.3.	Sistema autónomo de alimentação do datalogger	65
5	Resultados.....	71
5.1.	Resultados da aplicação em tempo real	71
5.2.	Análise dos dados recolhidos	72
6	Conclusão.....	79
	Bibliografia.....	81

Lista de Figuras

Figura 1.1 - Questões acerca da gestão de energia [4].....	3
Figura 2.1 - Ilustração projeto <i>Sensible</i> [5]	6
Figura 2.2 - Interface do software associado ao <i>Sensible</i> - Menu início [6].....	7
Figura 2.3 - Interface do software <i>Sensible</i> – Menu gestão avançada [6]	8
Figura 2.4 - Arquitetura da rede associada ao projeto <i>Sensible</i> [7]	9
Figura 2.5 - Arquitetura de uma habitação associada ao projeto <i>Sensible</i> [8]	10
Figura 2.6 - Arquitetura do sistema de monitorização associado ao <i>Sensible</i> [8]	10
Figura 2.7 - Modelo proposto do sistema [9].....	12
Figura 2.8 - Interface gráfica para o utilizador do sistema [9]	12
Figura 2.9 - Arquitetura de uma rede sensorial [9]	13
Figura 2.10 -Unidade sensorial remota instalada em cada sala do edifício [9]	14
Figura 2.11 -Topologia da rede <i>ZigBee</i> [11].....	15
Figura 2.12 - Esquema de gestão de energia do edifício [12]	17
Figura 2.13 - Exemplo da interface do editor <i>city explorer</i> [12]	17
Figura 2.14 - Interface de monitorização da temperatura no edifício [12]	18
Figura 2.15 - Interface do esquema de monitorização da luminosidade de uma divisão [12].....	19
Figura 2.16 - Arquitetura do sistema de gestão energética em camadas [12].....	20
Figura 2.17 - Componentes e tipos de comunicação envolvidos no sistema [12]	21
Figura 2.18 - Esquema de interligação das tecnologias envolvidas no projeto [12]	21
Figura 2.19 - Ilustração do controlo e aquisição de dados do sistema [12]	22
Figura 2.20 - Fluxo de energia térmica e elétrica através do edifício e tecnologias e dispositivos para conversão e armazenamento de energia – Sistema de monitorização associado [14] ..	24
Figura 2.21 - Sistema de aquecimento do edifício [15].....	25
Figura 2.22 - Protocolos de comunicação consoante as camadas dos modelos OSI e TCP/IP [16]	29
Figura 2.23 - Localização dos standards referidos nas camadas do modelo OSI [17].....	30
Figura 3.1 - O sistema como um <i>Living Lab</i>	32
Figura 3.2 - Arquitetura do modelo conceptual do sistema.....	33
Figura 3.3- Diagrama de blocos do modelo conceptual do sistema.....	35
Figura 3.4 - Comunicação <i>master-slave</i> (Fonte: www.ni.com)	36
Figura 3.5 - Ciclo pedido-resposta comunicação <i>master-slave</i> (Fonte: www.modbus.org).....	36
Figura 3.6 - <i>Standards</i> de comunicação <i>master-slave</i> ; a) Comunicação ponto a ponto; b) comunicação multiponto	37
Figura 3.7 - Formato da mensagem <i>modbus</i> linha série [19]	38
Figura 3.8 - Quadro de mensagem <i>modbus</i> (modo RTU) [18]	39
Figura 3.9 - Formato da mensagem <i>modbus</i> TCP/IP [19]	39
Figura 4.1 - Diagrama de blocos dos componentes do sistema	42
Figura 4.2 - Anemómetro Davis 6410E (Fonte: www.davisinstruments.com).....	44
Figura 4.3 - Termómetro <i>Decagon</i> ECT (Fonte: www.ictinternational.com).....	45

Figura 4.4 - Piranómetro <i>Apogee Instruments</i> PYR SP 110 (Fonte: www.apogeeinstruments.com)	45
Figura 4.5 - <i>Datalogger Decagon</i> EM50 e respectivas ligações <i>stereo</i>	46
Figura 4.6 - Formato da mensagem enviada pelo EM50.	47
Figura 4.7 - Output do software <i>ECH2O Utility</i> da <i>Decagon</i>	48
Figura 4.8 – Sistema AVAC - <i>Chiller</i>	49
Figura 4.9 – QGBT (fonte: www.electricrs.com)	49
Figura 4.10 - Conjunto de painéis solares instalados no topo do DEEC.	50
Figura 4.11 - Inversor SWEA UWT-I-250	50
Figura 4.12 - Gerador eólico modelo FD3.6-2000L.10L	51
Figura 4.13 – Controlador de tensão SWEA	51
Figura 4.14 – Inversor SUNGROW modelo WG1K5TL	52
Figura 4.15 - Curva de potência do gerador eólico FD3.6-2000-10L	53
Figura 4.16 - Analisador de energia <i>Algodue Elettronica</i> UPT210	53
Figura 4.17 - Conversor PCB de RS485 para USB (FTDI chip).....	54
Figura 4.18 - Pins de conexão do conversor RS485-USB (Fonte: www.ftdichip.com).....	54
Figura 4.19 - <i>Raspberry PI</i> 3 modelo B+ (Fonte: www.raspberrypi.org)	55
Figura 4.20 - <i>Raspberry PI</i> 7" <i>touch screen display</i> (Fonte: www.farnell.com)	56
Figura 4.21 - Ligações do PM's e do DL ao <i>Raspberry PI</i>	57
Figura 4.22 - Esquema de pinos da porta série do <i>Raspberry PI</i> (Fonte: esmm.info)	58
Figura 4.23 - Fluxograma da função <i>connect</i>	59
Figura 4.24 - Fluxograma da função <i>ReadPMs</i>	60
Figura 4.25 - Fluxograma da função <i>ReadDL</i>	62
Figura 4.26 - Fluxograma da função <i>SendToDB</i>	64
Figura 4.27 - Interface gráfica da aplicação desenvolvida; a) Energia; b) Dados DEEC; c) Dados Renovável; d) Dados meteorológicos	65
Figura 4.28 – Modelo conceptual do sistema de alimentação autónoma do datalogger	66
Figura 4.29 – Esquema de ligação dos componentes do sistema de alimentação autónoma do <i>datalogger</i>	66
Figura 4.30 - Pannel solar	67
Figura 4.31 - MPPT Sunny Buddy da Sparkfun (Fonte: www.sparkfun.com).....	67
Figura 4.32 - Bateria CELLEVIA BATTERIES modelo LP6535134 (Fonte: www.botnroll.com)...	68
Figura 4.33 – Conversor <i>buck boost</i>	69
Figura 5.1 – Resultados em tempo real da aplicação desenvolvida; a) Energia; b) Dados DEEC; c) Dados Renovável; d) Dados meteorológicos	72
Figura 5.2 – Consumo de energia durante a semana de 9 a 15 de setembro	73
Figura 5.3 - Produção de energia durante a semana de 9 a 15 de setembro	73
Figura 5.4 - Consumo Vs produção (08/08/2019).....	74
Figura 5.5 - Consumo AVAC (08/08/2019)	75
Figura 5.6 - Temperatura Vs produção de energia solar (08/08/2019).....	75
Figura 5.7 - Irradiância Vs produção de energia solar (08/08/2019)	76
Figura 5.8 - Direção do vento Vs produção de energia eólica (08/08/2019).....	77
Figura 5.9 - Produção de energia solar Vs produção de energia eólica (08/08/2019)	78

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Comparação entre os tipos de dados medidos nos <i>Living Labs</i> apresentados	27
Tabela 2.2 - Comparação entre as ações realizadas pelos <i>Living Labs</i> apresentados	27
Tabela 3.1 - Formato da <i>frame</i> em <i>modbus</i> RTU	38
Tabela 3.2 - Formato da <i>frame</i> em <i>modbus</i> ASCII.....	39
Tabela 4.1 - Parâmetros meteorológicos medidos pelo datalogger e unidades	43
Tabela 4.2 - Parâmetros de energia medidos pelos analisadores e unidades	43
Tabela 4.3 - Especificações do anemômetro Davis 6410E.....	44
Tabela 4.4 - Especificações do termômetro <i>Decagon</i> ECT	45
Tabela 4.5 - Especificações do piranômetro <i>Apogee Instruments</i> PYR SP 110.....	46
Tabela 4.6 - Especificações do <i>datalogger</i> <i>Decagon</i> EM50.....	48
Tabela 4.7 - Especificações do painel solar	67
Tabela 4.8 - Especificações do MPPT Sunny Buddy da Sparkfun.....	68
Tabela 4.9 - Especificações da bateria VELLEIA BATTERIES modelo LP6535134	68
Tabela 4.10 - Especificações do boost converter.....	69
Tabela 4.11 - Especificações dos diferentes tipos de painéis solares.....	50
Tabela 4.12 - Especificações gerador eólico FD3.6-2000-10L.....	52
Tabela 4.13 - Especificações do conversor RS485-USB.....	54
Tabela 4.14 - Especificações <i>Raspberry Pi</i> 3 B+.....	55
Tabela 4.15 – Especificações <i>Raspberry PI</i> 7" <i>touch screen display</i>	56
Tabela 4.16 - Parâmetros associados aos valores lidos pelos sensores	63

Lista de Acrónimos

ASCII	American Standard Code for Information Interchange
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
CAN	Controller Area Network
CRC	Cyclic Redundancy Check
DCP	Data Collector Points
DEEC	Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
DL	Data Logger
DSI	Display Serial Interface
DSM	Demand Side Management
DSO	Distribution System Operator
EEM	Electric Energy Measurement
FCT	Faculdade de Ciências e Tecnologias
GND	Ground
GPIO	General Purpose Input Output
HAM	Home Automation Modules
HEMS	Home Energy Management System
HTTP	Hyper Text Transfer Protocol
ICT	Information and Communications Technology
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IHM	Interface Humano-Máquina
LED	Light Emitting Diode
LRC	Longitudinal Redundancy Check
MBAP	Modbus Application Protocol
MIT	Massachusetts Institute of Technology

MPPT	Maximum Power Point Tracking
NZEB	Nearly Zero Emission Building
OSGI	Open Services Gateway Initiative
OSI	Open System Interconnection
PC	Portable Computer
PCB	Printed Circuit Board
PDU	Protocol Data Unit
PM	Power Meter
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
RTU	Remote Terminal Unit
RX	Receiver
SAD	Sistema de Aquisição de Dados
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SGBD	Sistema de Gestão de Base de dados
SHAP	Southampton Hand Assessment Procedure
SS	Subestação Secundária
STC	Standard Test Conditions
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
TX	Transmitter
TEM	Thermal Energy Measurement
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter
USB	Universal Serial Bus
ZEB	Zero Emission Building

1

Introdução

Este capítulo engloba a motivação da presente dissertação, onde consta o encadeamento de necessidades que motivaram este tema, o enquadramento e a descrição dos objetivos.

1.1 Motivação e Enquadramento

Até aos dias de hoje tem vindo a verificar-se uma notável evolução tecnológica, na medida em que a tecnologia tem marcado a evolução da ciência e da sociedade nos últimos anos. As crescentes necessidades tecnológicas da sociedade exigem uma constante capacidade de resposta aos desafios que vão aparecendo. Assim, de forma a acompanhar estes desafios, verifica-se a necessidade do desenvolvimento de práticas de inovação na área tecnológica. É então que se destaca o conceito de *Living Lab*, que se foca numa metodologia de pesquisa e desenvolvimento centrada no utilizador, onde as inovações são criadas, desenvolvidas e testadas de forma a validar os conceitos subjacentes num contexto real [1].

O termo *Living Lab* (ou laboratório vivo), surgiu há mais de 20 anos atrás, no MIT em Boston, onde o professor William Mitchell utilizou este termo para definir um estudo do MediaLab e da Faculdade de arquitetura e planeamento urbano, em que algumas pessoas viveram vários dias dentro de uma casa com automação residencial, onde o objetivo era analisar o comportamento dos residentes e assim adaptar as tecnologias às suas necessidades [2]. A partir daí, o termo *Living Lab* foi aplicado em vários projetos cujo foco se inseria no seu conceito.

Atualmente existem várias definições para o conceito de *Living Lab*. Um *Living Lab* é definido como uma metodologia de inovação, centrada no utilizador,

para deteção, prototipagem, validação e aperfeiçoamento de soluções em contextos reais, variados e em evolução [2]. Uma outra definição de *Living Lab*, apresenta-os como um sistema que permite que os utilizadores/consumidores de serviços e produtos tomem papéis ativos como contribuintes e cocriadores no processo de pesquisa, desenvolvimento e inovação. O termo *Living Lab* é ainda definido como um ecossistema de inovação aberta, centrada no utilizador, permitindo-lhe tomar parte ativa no processo de pesquisa, desenvolvimento e inovação [3].

Desta forma, as várias definições encontradas na literatura para o termo *Living Lab*, convergem para uma descrição geral e comum. Tipicamente, um *Living Lab* refere-se a um ambiente que contempla a inovação e a implementação de tecnologias e que é caracterizado por experiências em contexto real, envolvendo de uma forma ativa os utilizadores que fazem parte do ecossistema. Os principais objetivos de um *Living Lab* são testar novas soluções tecnológicas num contexto real, obter informação proveniente do sistema implementado e permitir interações entre os utilizadores e o resto do ecossistema. As interações estabelecidas com os utilizadores podem ter vários propósitos, nomeadamente a avaliação de novas soluções tecnológicas, a validação de tecnologias implementadas e o comportamento dos utilizadores inseridos num determinado ecossistema.

A par do progresso tecnológico que se tem verificado ao longo dos anos, destaca-se também um aumento da procura pela energia elétrica, que por sua vez gera também um aumento da oferta, originando desafios relacionados com a gestão da produção e consumo de energia elétrica. Assim, vão surgindo novos desafios e ideias para colmatar as necessidades energéticas da sociedade que necessitam de ser testadas de forma a validar o conceito subjacente. Este encadeamento de necessidades, marcado pela existência de uma constante necessidade de inovação, culmina na motivação desta dissertação, que converge com o conceito de *Living Lab*.

Esta dissertação enquadra-se no tema da gestão energética inserido no contexto dos *Living Labs*, uma vez que, no futuro, se pretende recorrer ao conhecimento obtido pelo sistema desenvolvido para agir ao nível da gestão de energia, oferecendo ao utilizador a possibilidade de interagir com o sistema, nomeadamente ao nível do consumo e armazenamento de energia.

Visando uma gestão otimizada da energia, há vários critérios a ter em conta, como mostra a figura 1.1, entre eles, onde obter a energia para consumo (da rede, da produção renovável ou de baterias), o que fazer à energia renovável gerada (vender, armazenar ou consumir), quando usar determinadas cargas, nomeadamente cargas flexíveis, como interagir ativamente com a rede e ainda como a instalação consegue suportar e abastecer os equipamentos elétricos [4].

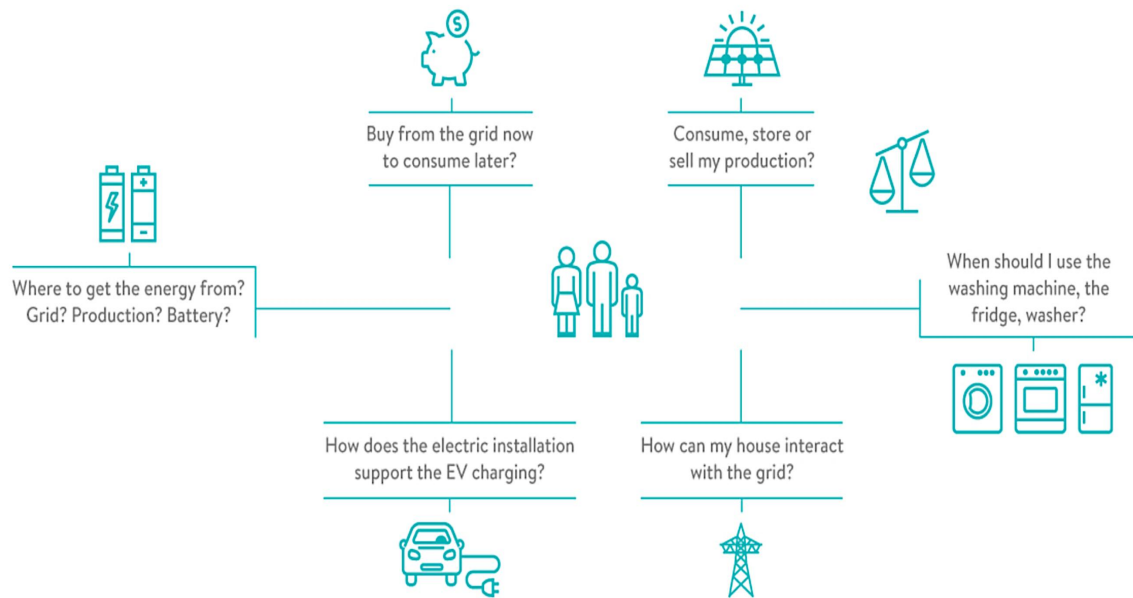


Figura 1.1 - Questões acerca da gestão de energia [4]

Para se obter respostas às perguntas referidas na figura 1.1, é necessário fazer a recolha de dados do sistema em estudo, entre eles dados de produção e de consumo energético. Desta forma, existe a necessidade de conhecer o comportamento de um sistema de produção e de consumo de energia, oferecendo assim aos utilizadores a possibilidade de tomar decisões e ações, direta ou indiretamente, na gestão de energia.

Em suma, esta dissertação, inserida no conceito de *Living Lab*, permite monitorizar o comportamento energético de um sistema/edifício, bem como analisar outros fatores, para assim serem tomadas decisões e realizadas ações que visem uma gestão otimizada da energia.

1.2 Objetivos

Os objetivos desta dissertação focam-se, de uma forma geral, na construção de um sistema que permita recolher, monitorizar e agregar os dados meteorológicos e os dados de consumo e produção de energia provenientes de equipamentos de recolha de dados meteorológicos e de energia, com o propósito de dar aos utilizadores o acesso a esses dados, oferecendo-lhes assim a possibilidade de interagir com o sistema.

Em particular, este projeto consiste na recolha de dados meteorológicos, de produção e de consumo de energia, provenientes de equipamentos instalados no edifício do departamento de Engenharia Eletrotécnica da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa, com recurso a um sistema microcontrolador para efetuar a leitura dos dados recolhidos pelos vários analisadores de energia instalados e pelo *datalogger* agregado à estação meteorológica. Pretende-se ainda enviar os dados recolhidos para um sistema de gestão de base de dados e disponibilizar ao utilizador uma aplicação que lhe permita monitorizar os dados recolhidos em tempo real. Para obter estes objetivos referidos, é necessário o desenvolvimento de processos, nomeadamente a implementação de um protocolo de comunicação para realizar a comunicação entre os dispositivos de leitura e o microcontrolador, o uso de dispositivos eletrónicos para monitorizar os dados recolhidos e o uso de ferramentas de criação e interação com bases de dados.

O projeto contempla ainda o desenvolvimento de um sistema autónomo de alimentação da estação meteorológica, no âmbito desta dissertação, dimensionando uma bateria alimentada por um painel fotovoltaico, de modo a tornar o sistema mais integrado no recurso a fontes de energia renováveis.



Estado de Arte

Neste capítulo, é feita uma abordagem a alguns projetos que se inserem no conceito de *Living Lab* com vista a apresentar sistemas de monitorização e controlo automático distintos entre si. Para cada projeto é feita uma descrição geral e uma abordagem técnica ao seu funcionamento. Foram selecionados quatro projetos que se inserem no conceito de *Living Lab*, de modo a mostrar ao leitor alguns projetos que se inserem no conceito de *Living Lab* e que possuem diferentes características. O primeiro projeto apresentado destaca-se por ser um projeto de demonstração com foco na gestão e armazenamento de energia, o segundo projeto segue o conceito de casa inteligente e destaca-se por realizar o controlo automático e individual de equipamentos e ainda por utilizar uma tecnologia de comunicação sem fios, o terceiro projeto destaca-se por possuir um sistema de gestão de energia configurável e o quarto projeto destaca-se por ser um projeto criado no âmbito dos *Living Labs* que assenta no teste de soluções de gestão de energia e do desempenho NZEB de um edifício. Após a apresentação dos quatro *Living Labs* é feita uma comparação entre eles. Por fim, e dado que a comunicação com os dispositivos de aquisição de dados é uma parte fundamental do funcionamento dos *Living Labs*, são apresentados os protocolos de comunicação mais utilizados para efetuar a comunicação entre dispositivos, em particular com dispositivos analisadores de energia.

2.1. Descrição de *Living Labs* existentes

Nos dias de hoje verifica-se uma grande procura por recursos energéticos que, com o passar do tempo, se vão tornando cada vez mais escassos. Uma parte significativa da energia consumida provém das necessidades energéticas dos

edifícios, surgindo assim a necessidade de criar sistemas capazes de monitorizar e gerir o consumo energético a estes associado. Desta forma, todos os sistemas capazes de monitorizar e controlar, direta ou indiretamente, o consumo de energia elétrica, entre outros fatores, considerando e adaptando o comportamento dos utilizadores desses mesmos sistemas às tecnologias, inserem-se no conceito de *Living Labs*, com foco na gestão de energia.

Os *Living Labs* apresentados neste capítulo são projetos de inovação em contexto real, de teste e/ou estudo de várias tecnologias e, sobretudo, formas de interação entre os utilizadores e as tecnologias implementadas.

2.1.1. Projeto Sensible EDP

Sensible, Storage Enabled Sustainable energy for BuILdings and communitiEs, é um projeto de demonstração que integra fontes de energia renováveis, nomeadamente energia solar fotovoltaica, e ainda tecnologias de armazenamento de energia e microgeração (cogeração e bombas de calor) em redes de energia, edifícios residenciais e de serviços (figura 2.1), criando valor tanto para a rede de distribuição e para o sistema elétrico como para o cliente final, através de aplicações residenciais [5].

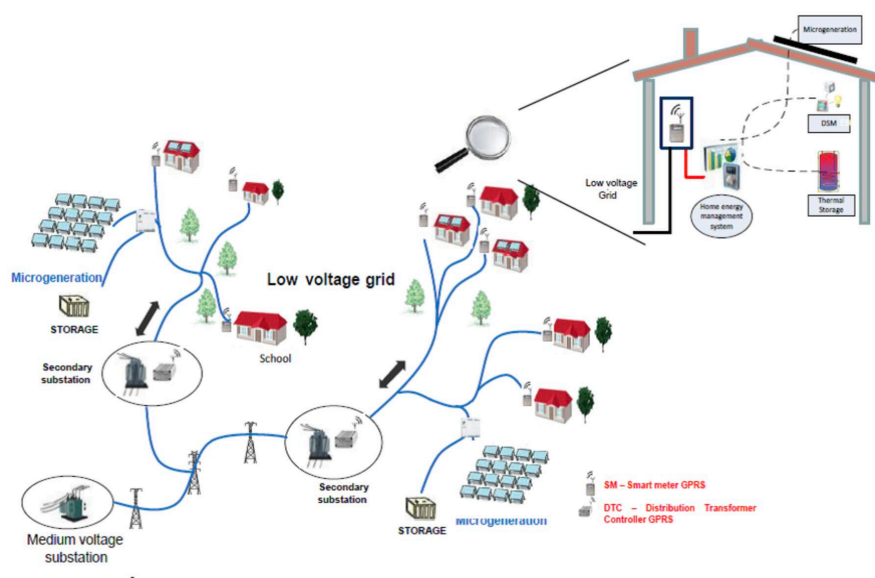


Figura 2.1 - Ilustração projeto *Sensible* [5]

O projeto tem como objetivo criar uma gestão mais eficaz e eficiente da rede, fazendo a introdução de energias renováveis e foca-se no teste de soluções de

gestão energética e de sistemas de armazenamento de energia. Foi liderado pela *Siemens Corporate Technology A.G.* e pela *NEW R&D* e foi implementado em 3 casos de estudo: Portugal, Reino Unido e Alemanha. Em Portugal, foi implementado em Valverde na cidade de Évora.

A demonstração do projeto na aldeia de Valverde decorreu entre 2015 e 2018 e, com cerca de 15 milhões de euros de orçamento, teve como foco o teste de tecnologias de armazenamento e gestão de energia, visando uma gestão otimizada da rede perante cenários com uma maior produção de energia renovável, abrangendo 238 clientes onde foram instalados sistemas de microgeração para 10% da população referida, assim como sistemas de gestão de energia, baterias e termoacumuladores inteligentes [6].

Cada cliente participante na demonstração do projeto, para além da instalação e dos equipamentos de produção de energia solar fotovoltaica, recebeu ainda acesso a um sistema informático para gerir os seus consumos de energia.

A interface entre o sistema e o utilizador disponibiliza dados gerais relativos à produção de energia solar fotovoltaica e ao consumo, tanto de energia renovável, como de energia vinda da rede elétrica de distribuição nacional. É ainda possível visualizar o estado da bateria de armazenamento de energia, nomeadamente, a potência à qual a bateria se encontra a carregar e a percentagem de carga da mesma. Os dados relativos ao termoacumulador inteligente também estão incluídos no *software*, assim como os dados recolhidos do analisador de energia do edifício do participante, onde se encontra registada a potência consumida e injetada na rede durante um determinado período de tempo (figura 2.2).

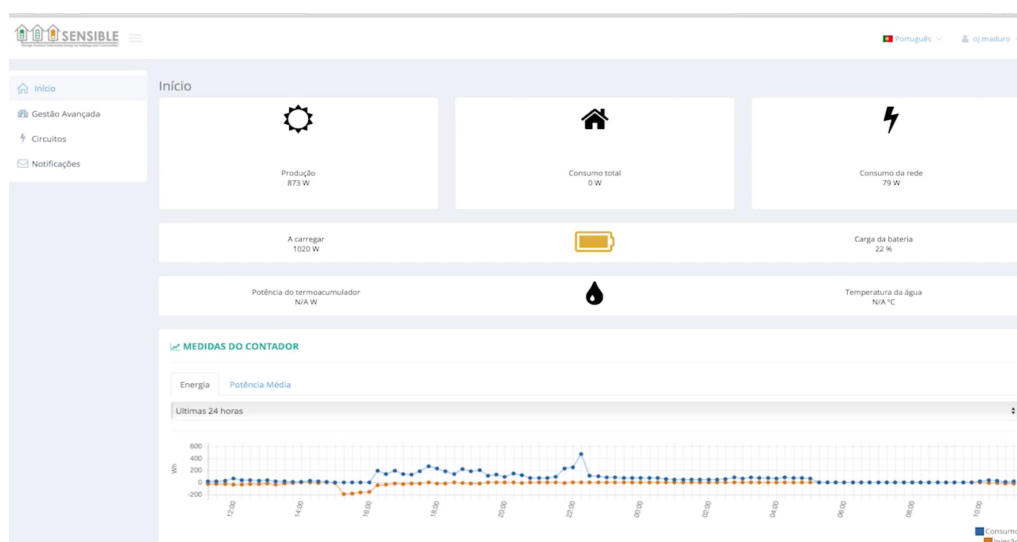


Figura 2.2 - Interface do software associado ao *Sensible* - Menu início [6]

Neste sistema existe ainda uma opção de gestão avançada, cuja interface se encontra ilustrada na figura 2.3 onde se apresentam os dados relativos ao painel fotovoltaico instalado na residência de cada participante, nomeadamente a potência de autoconsumo, a potência máxima de produção e um gráfico que apresenta a energia solar fotovoltaica por unidade de tempo ao longo de um determinado período. Quanto aos dados mais específicos da bateria, são apresentados os níveis de potência de carregamento e de descarregamento da mesma.

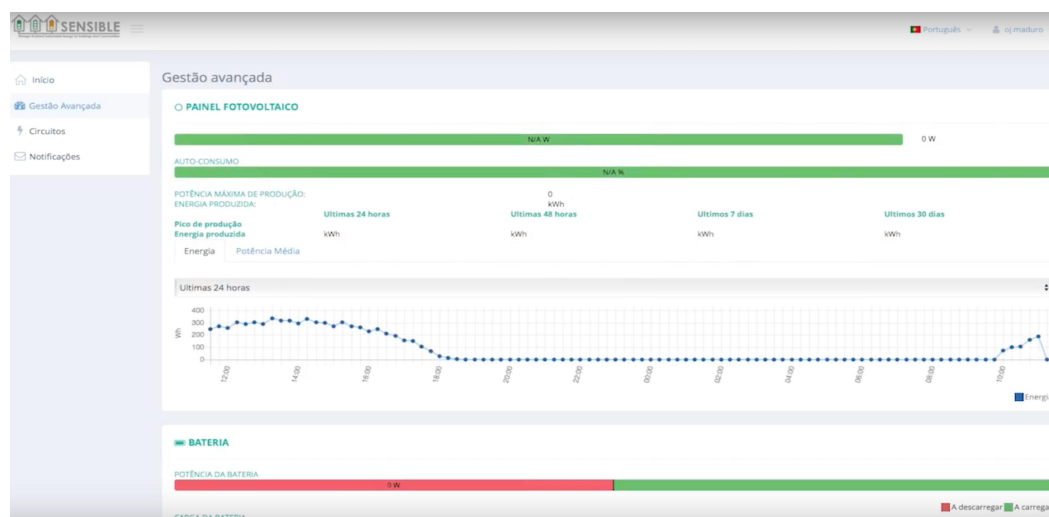


Figura 2.3 - Interface do software Sensible– Menu gestão avançada [6]

Assim, o projeto piloto português permite não só a produção de energia renovável, como também a gestão eficaz dos consumos de eletricidade, integrando-se assim no conceito dos *Living Labs*, uma vez que permite monitorizar o consumo e a produção de energia de forma a geri-la consoante os dados recolhidos e as necessidades do utilizador.

Relativamente aos resultados da demonstração, registou-se uma poupança de, aproximadamente, 300 euros por ano por cada cliente, devido à produção solar fotovoltaica, ao armazenamento de energia em baterias e ainda devido à introdução de mecanismos de gestão de energia. Estima-se que esta poupança possa ser potenciada em cerca de 20 a 25 % pela introdução de mecanismos de gestão da flexibilidade avançados [6].

Relativamente à arquitetura da rede do sistema associado ao projeto *Sensible*, é composta por três subestações secundárias (SS), entre elas duas subestações da rede (DSO) e uma subestação pertencente ao cliente. Ambas as subestações DSO alimentam uma rede rural de baixa tensão e cada uma possui 250 kVA de potência nominal. A subestação de cliente pertence ao campus da universidade de Évora e possui um pico de potência de consumo de 500 kVA.

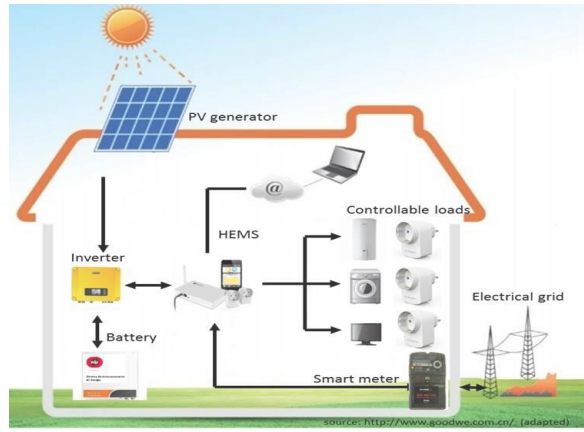


Figura 2.5 - Arquitetura de uma habitação associada ao projeto *Sensible* [8]

Relativamente à arquitetura do sistema que permite a aquisição e agregação dos dados recolhidos (arquitetura ICT), encontra-se ilustrada na figura 2.6.

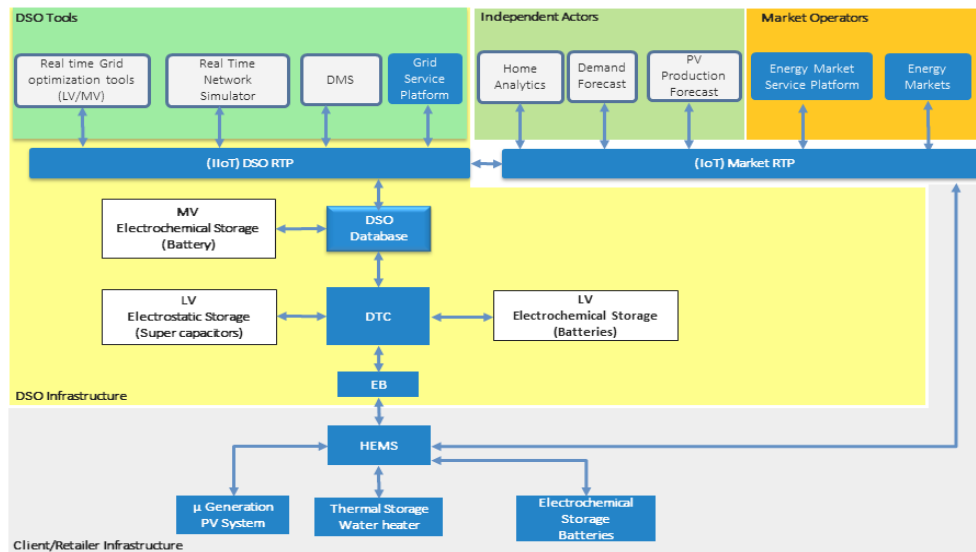


Figura 2.6 - Arquitetura do sistema de monitorização associado ao *Sensible* [8]

Na figura 2.6, os componentes principais encontram-se agrupados em cinco principais blocos, entre eles a infraestrutura DSO (operador do sistema de distribuição), as ferramentas DSO, os atuadores independentes, os operadores de mercado e a infraestrutura da habitação do cliente. A informação entre os blocos flui através de uma plataforma de integração em tempo real que atua como *middleware* para aquisição e processamento de dados, para suportar grandes volumes de informação com baixa latência. Esta plataforma é capaz de minimizar o número de *queries* à infraestrutura e disponibilizar informação comum a diferentes sistemas [7].

2.1.2. Sistema de monitorização e controlo automático de energia para edifícios

Este projeto consiste num sistema de gestão de energia composto por dois componentes principais, nomeadamente uma rede de sensores sem fios e um terminal de monitorização, focando-se no desenvolvimento dessa rede de sensores e na implementação do sistema de gestão e controlo de energia numa casa inteligente [9].

A motivação deste sistema é a necessidade de otimizar a gestão da energia consumida em edifícios e de desenvolver tecnologias mais eficientes.

O sistema permite aos utilizadores poupar energia pela monitorização e controlo manual ou automático da iluminação do edifício e dos eletrodomésticos, individualmente, através do terminal. Caso seja detetado um nível excessivo de potência associada a cada eletrodoméstico (cada um tem um nível máximo pré-definido), o sistema corta o fornecimento de energia a esse eletrodoméstico. Quando uma pessoa entra numa sala e não existe luz natural suficiente, a luz acende-se automaticamente.

Para além deste sistema de controlo automático anteriormente referido, o projeto inclui ainda uma interface gráfica entre o utilizador e os dispositivos elétricos, onde o utilizador pode controlar todos os eletrodomésticos e iluminação através de um computador. Assim, o utilizador consegue perceber quais os eletrodomésticos que estão ligados desnecessariamente (através da energia consumida em tempo real) e quanto estes estão a consumir mensalmente (através do consumo de energia acumulado). O utilizador pode aceder ao servidor para desligar os eletrodomésticos desnecessariamente ligados.

Este sistema de monitorização pode ser facilmente instalado em qualquer edifício e assenta na tecnologia de comunicação *ZigBee*, que serve para realizar a comunicação sem fios entre os dispositivos eletrónicos.

Na figura 2.7, encontra-se a representação do modelo proposto do sistema, considerando que o edifício dispõe de duas salas, apesar de este projeto ser aplicado a edifícios com muitas salas, como escolas e universidades, onde a gestão e monitorização dos consumos energéticos são necessários.

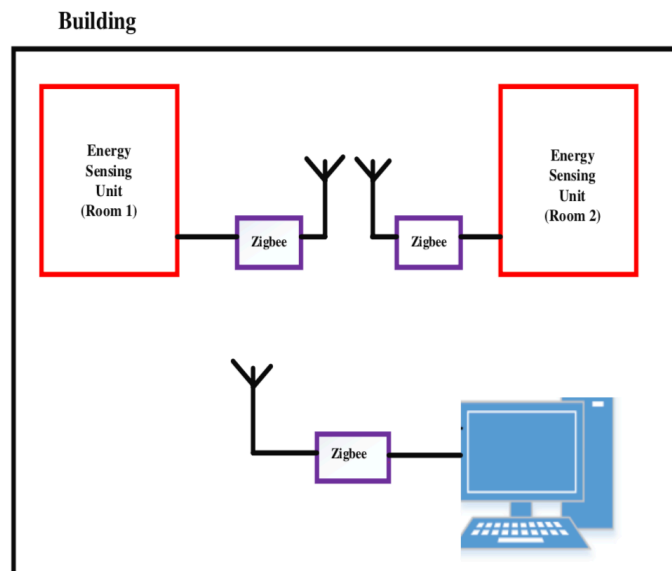


Figura 2.7 - Modelo proposto do sistema [9]

Na figura 2.8, observa-se a interface do sistema com o utilizador que apresenta o estado da iluminação e a energia consumida em cada sala do edifício.



Figura 2.8 - Interface gráfica para o utilizador do sistema [9]

Este sistema de monitorização foca-se na aplicação de redes sem fios para comunicar entre os sensores e os atuadores. Para isso, são enviados dados entre os vários nós da rede. A rede sensorial é composta pelas seguintes características [9] (figura 2.9):

- Sensores que recolhem dados do meio envolvente;
- Uma unidade central (microprocessador) que gere as tarefas;

- Um transceptor que comunica com o meio envolvente;
- Uma memória para armazenar os dados temporariamente.

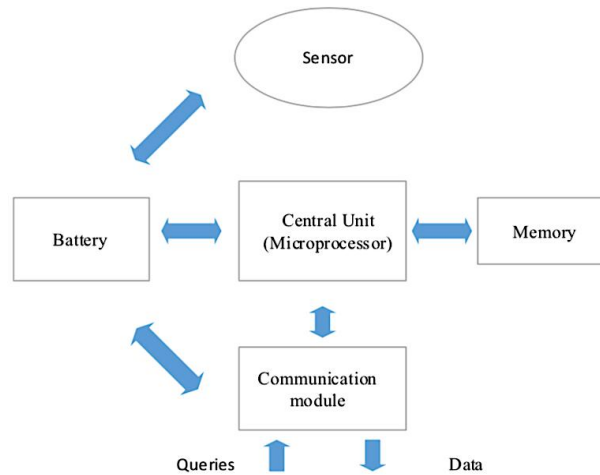


Figura 2.9 - Arquitetura de uma rede sensorial [9]

Para a monitorização do consumo de energia, este sistema possui um *hardware* baseado em circuitos de medição de corrente e tensão, assim como uma unidade de microcontroladores, uma estação de controlo remoto e um módulo de comunicação baseado no protocolo *ZigBee*.

Relativamente à estação de controlo remoto, o circuito implementado para o controlo da iluminação encontra-se na figura 2.10. Este módulo de controlo, presente em cada sala do edifício, consiste em sensores de tensão, corrente, luminosidade e presença, um módulo *ZigBee* e ainda um controlador (*arduino*) que, por sua vez, recebe os dados recolhidos pelos sensores e envia-os à estação de monitorização via *ZigBee* [9].

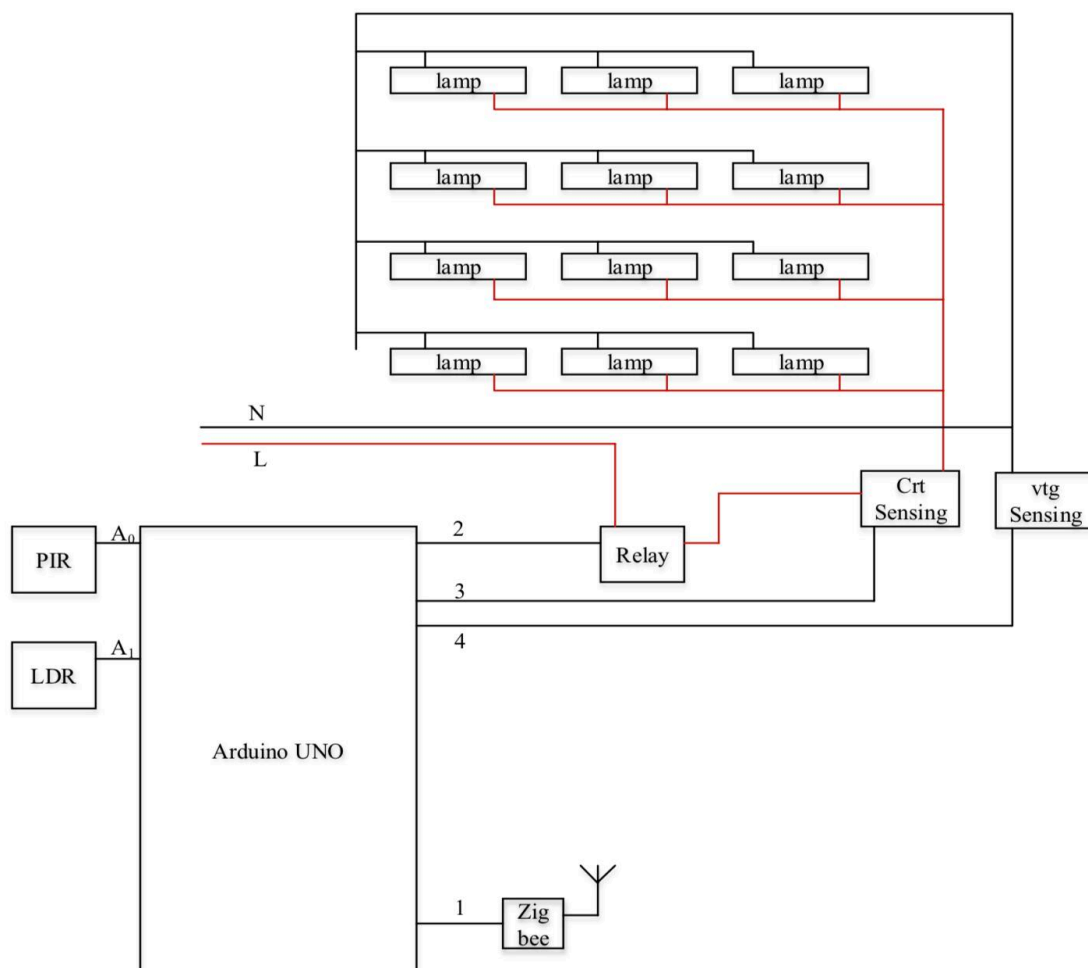


Figura 2.10 -Unidade sensorial remota instalada em cada sala do edifício [9]

No que diz respeito aos circuitos medidores de corrente e de tensão, o *hub* de cada sala recolhe a informação acerca do consumo de energia dos eletrodomésticos da sala e transfere-a para o computador, através do protocolo de comunicação *ZigBee*. O computador, por sua vez, analisa a informação que recebe e apresenta a energia consumida em cada eletrodoméstico das várias salas em tempo real e ainda a energia total consumida em cada sala num determinado intervalo de tempo. Relativamente ao funcionamento do sistema de monitorização e controlo automático de energia, os circuitos de medição de corrente e tensão medem estes componentes da instalação e enviam essa informação à unidade de microcontroladores que por sua vez verifica eventuais anormalidades na potência de consumo da instalação e comunica com o servidor do edifício que contém uma base de dados e usa o protocolo de comunicação *ZigBee*.

Para o controlo automático referido, faz parte do *hardware* do sistema um relé que, caso o microcontrolador detete um nível excessivo de potência consumida na instalação, corta a fonte de alimentação dos eletrodomésticos do edifício.

Por fim, relativamente ao módulo *ZigBee*, esta rede é capaz de detetar automaticamente o caminho que os dados devem seguir entre os nós da rede, de forma a que a transmissão de dados seja eficaz.

O *ZigBee* é uma especificação que se baseia no standard IEEE 802.15.4 das redes pessoais sem fios e assume três topologias base, consoante a necessidade de aplicação da rede, nomeadamente em estrela, em malha e em árvore [10] (figura 2.11).

Na topologia em estrela, a comunicação ocorre entre os dispositivos através de um único coordenador central. Na topologia em malha, todos os dispositivos podem comunicar entre si, desde que se consigam alcançar mutuamente através da rede. Esta topologia tem a capacidade de se auto-organizar e autoestruturar e, devido à sua configuração, confere uma maior robustez à rede, uma vez que permite múltiplos caminhos de ligação entre os dispositivos. A topologia em árvore é considerada um aglomerado de redes com topologia em malha, ligadas por um coordenador central que fica responsável pela rede [10].

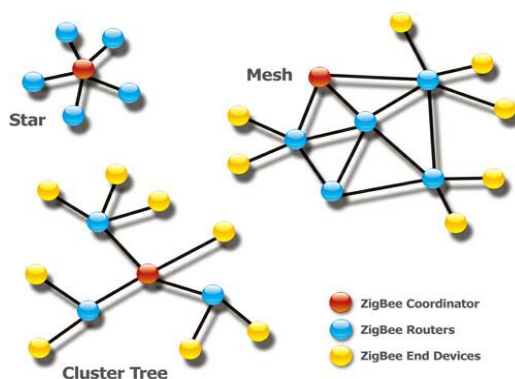


Figura 2.11 -Topologia da rede *ZigBee* [11]

As redes *ZigBee* admitem vários nós e apresentam um baixo consumo de energia, um baixo custo e uma reduzida taxa de transferência de pacotes de dados.

2.1.3. “How can We tackle Energy Efficiency in IoT Based Smart Buildings?”

Este artigo apresenta um projeto que se foca na análise dos parâmetros que devem ser considerados ao criar um sistema de gestão de energia de um edifício e na sua implementação. Assim, com o objetivo de auxiliar os administradores do sistema de gestão de um edifício, este projeto permite-lhes selecionar os parâmetros que mais influenciam o consumo energético [12].

Para o caso de estudo deste projeto, foram considerados três tipos de edifícios distintos, com vista a obter diferentes sistemas de gestão e monitorização, consoante as características e necessidades de cada edifício. Para isso, foram feitas algumas experiências com o objetivo de demonstrar a influência dos parâmetros previamente identificados como relevantes no consumo energético dos edifícios considerados [12].

Concretamente, este sistema de gestão de energia em edifícios analisa todos os dados monitorizados pelos dispositivos automáticos integrados e, considerando premissas previamente definidas, toma decisões em tempo real com o objetivo de melhorar a eficiência energética do edifício, mantendo o conforto dos ocupantes do mesmo [12]. É possível fazer uma divisão espacial do edifício consoante o nível de consumo de cada área.

Para a construção do sistema de gestão do consumo de um edifício, alguns dados de entrada são considerados, nomeadamente [12]:

- Quais os dispositivos elétricos que estão sempre ligados;
- Quais os dispositivos elétricos que estão pontualmente ligados;
- Qual o comportamento dos ocupantes do edifício;
- Informação acerca da energia gerada no edifício (caso o edifício seja produtor de energia);
- Informação do consumo total de energia no edifício.

Na figura 2.12, encontra-se um esquema representativo do sistema de gestão de energia do edifício inteligente onde se pode observar as variáveis de entrada (valores medidos pelos sensores) e de saída (atuadores), assim como os protocolos de comunicação usados para transmissão de dados.

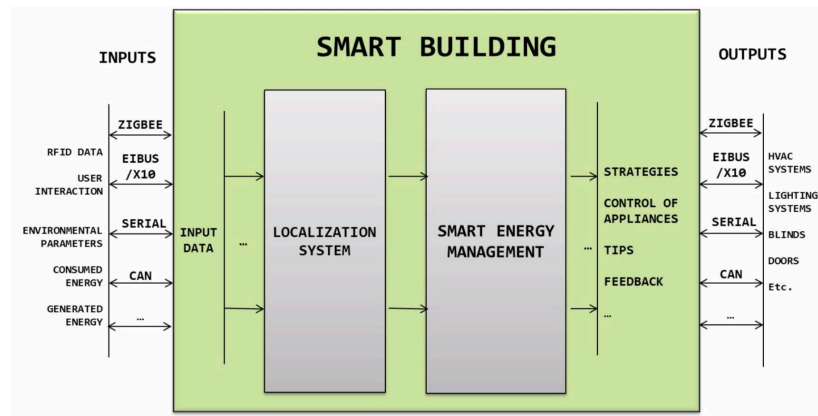


Figura 2.12 - Esquema de gestão de energia do edifício [12]

Relativamente à plataforma que permite ao administrador do sistema definir como este gere o consumo de energia, tem por nome editor *city explorer* e contém registados todos os equipamentos instalados no edifício (sensores e atuadores) e permite que o administrador configure o sistema de gestão de energia através de esquemas contendo blocos representativos dos sensores e atuadores e interligações, representadas por setas. Um exemplo de uma possível configuração do sistema encontra-se na figura 2.13.

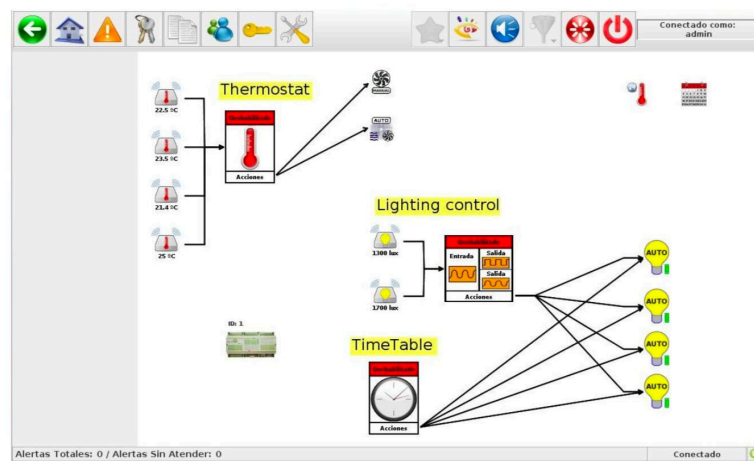


Figura 2.13 - Exemplo da interface do editor *city explorer* [12]

Na análise experimental do sistema de monitorização anteriormente referido, foram considerados exemplos representativos de três tipos de edifícios, entre eles um campus inteligente, um edifício inteligente composto por laboratórios e um edifício inteligente composto por escritórios de uma empresa [12].

Em todos os tipos de edifícios analisados, o foco foi o conforto e a eficiência energética dos mesmos. Para providenciar estas condições, foi necessário garantir aspetos como a qualidade do ar, iluminação e condições térmicas. Para isso, o sistema necessita dos seguintes atuadores [12]:

- Sistemas de sombreamento para reduzir o brilho luminoso quando este é excessivo;
- Abertura automática de janelas para ventilação natural ou sistemas de ventilação;
- Sistemas de iluminação;
- Sistemas de aquecimento e arrefecimento;
- Dispositivos elétricos e eletrodomésticos.

O sistema apresenta uma interface que permite ao utilizador monitorizar dados como a temperatura pré-definida de cada divisão (figura 2.14) e aceder ao esquema da implementação do sistema de monitorização (figura 2.15).



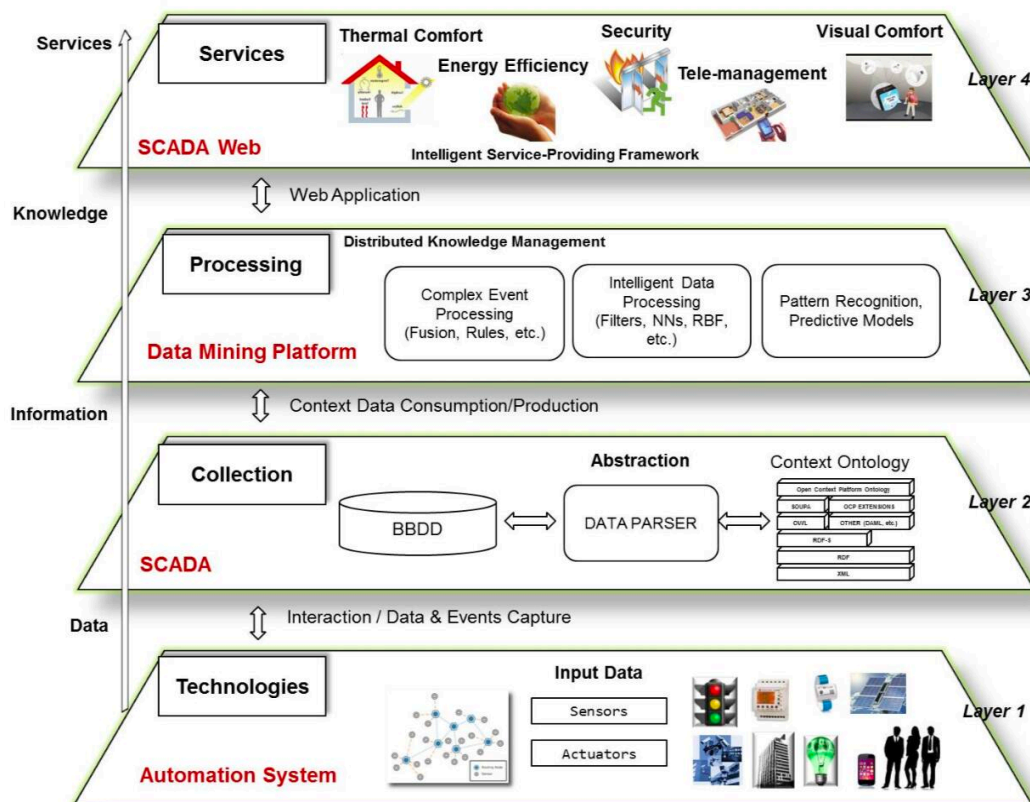
Figura 2.14 - Interface de monitorização da temperatura no edifício [12]



Figura 2.15 - Interface do esquema de monitorização da luminosidade de uma divisão [12]

O utilizador pode ainda controlar remotamente o edifício, através do serviço de mensagens, SMS, caso o acesso à internet não seja possível.

A plataforma desenvolvida para interagir com o sistema de gestão de energia do edifício é composta pelos equipamentos eletrónicos instalados no mesmo (sensores e atuadores) e pela infraestrutura de conectividade externa, que é necessária para providenciar acesso remoto, teleassistência técnica e serviços de segurança, eficiência e conforto no edifício [12]. A arquitetura da plataforma encontra-se representada na figura 2.16 e apresenta 4 camadas distintas. A primeira camada é caracterizada pela medição de dados recolhidos do edifício através dos sensores. Esta camada gere múltiplas fontes de dados. A segunda camada é dedicada ao processamento de dados, convertendo-os num formato comum. Na terceira camada são aplicadas técnicas de processamento de dados e algumas regras pré-definidas para cada serviço específico a desempenhar no edifício. Por fim, na última camada são obtidos os serviços desejados como conforto térmico, eficiência energética, segurança e conforto visual no edifício.



O sistema é composto por dois subsistemas, nomeadamente uma rede de módulos de automação doméstica, designados de HAM, e um sistema de controlo e aquisição de dados, designado de SCADA [12].

Relativamente ao HAM, este baseia-se num CPU de 32 bits e 4MB de baixo consumo conectado a todos os eletrodomésticos, sensores e atuadores instalados no edifício e inclui uma interface entre o sistema e o utilizador designado de HMI para controlar os dispositivos. Cada HAM da rede de automação doméstica suporta a maioria dos protocolos de comunicação atuais para se conectar com os diversos componentes [12].

Na figura 2.17 encontra-se um esquema que ilustra a integração dos diferentes componentes envolvidos na plataforma desenvolvida.

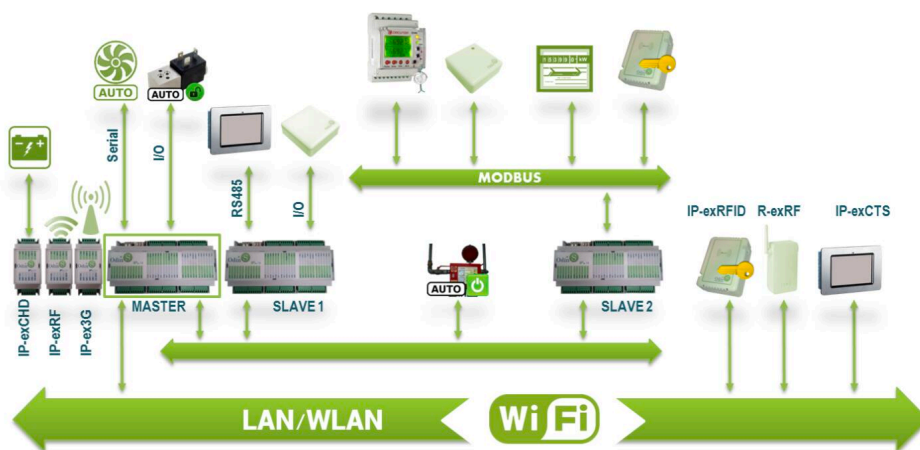


Figura 2.17 - Componentes e tipos de comunicação envolvidos no sistema [12]

Para além dos barramentos com fios, o sistema é composto por uma conexão sem fios fornecida por padrões como o *ZigBee* e *Bluetooth* para efetuar a comunicação entre o SCADA e os sensores e atuadores. Para além destes protocolos, também pode ser usado o *bus* CAN (Controller Area Network) pois este permite ampliar a faixa de operação e fornece uma solução mais distribuída. Este sistema suporta o protocolo *Modbus* e permite a ligação de dispositivos baseados no protocolo RS-485. Na figura 2.18 encontra-se o esquema de interligação destas tecnologias [12].

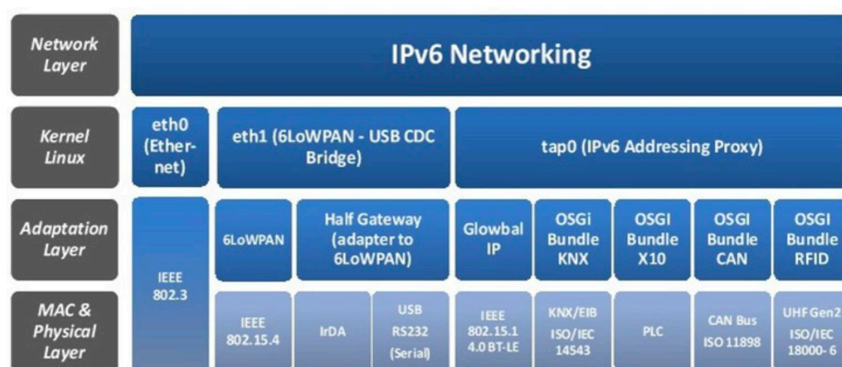


Figura 2.18 - Esquema de interligação das tecnologias envolvidas no projeto [12]

O conjunto de especificações OSGI (Open Services Gateway Initiative) é utilizado neste sistema para gerir o ciclo de vida dos serviços a ele associados. O serviço HTTP que o OSGI fornece é usado por uma aplicação *Web* que fornece ao utilizador a possibilidade de gerir, local e remotamente, o edifício, através de uma interface a três dimensões [12].

Relativamente ao sistema de controlo e aquisição de dados, este recolhe os dados medidos pelos sensores e fornece informações processadas aos utilizadores. Na figura 2.19 encontra-se o esquema de funcionamento do sistema de controlo e aquisição de dados, onde os dados dos HAMs são colecionados por um conjunto de pontos coletores de dados (DCPs) utilizando o protocolo SHAP. Os HAMs escolhem um dos DCPs de acordo com uma lista de prioridades inicial e o desempenho observado. Os dados são enviados para O *Data Base Proxies* que, por sua vez, transforma as medições dos HAMs em registos de dados. Por fim, o *DB Writer* fornece um acesso à base de dados [12].

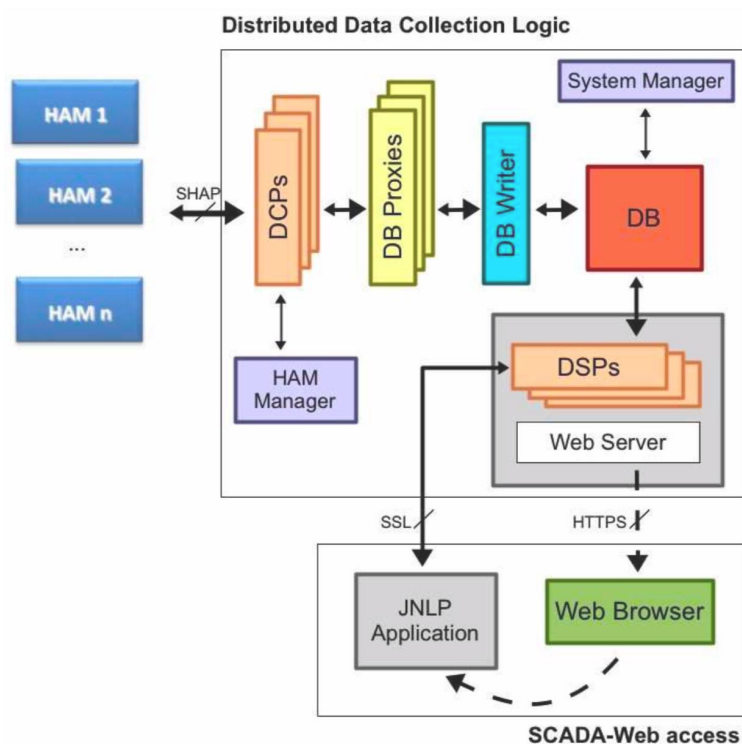


Figura 2.19 - Ilustração do controlo e aquisição de dados do sistema [12]

Como se pode identificar no esquema apresentado na figura 2.19, existem dois módulos de gestão, nomeadamente o HAM Manager, que permite que os administradores verifiquem o *firmware* do HAM, e o *System Manager*, que é um serviço sempre ativo que permite a monitorização das operações de todos os módulos DCPs e *DB Proxies*.

O bloco SCADA-Web permite que as informações guardadas pelos HAMs sejam disponibilizadas aos utilizadores e administradores [12].

2.1.4. ZEB *Living Laboratory*

O *Living Lab* ZEB é uma instalação de teste de tecnologias ligadas à flexibilidade energética e foi desenvolvido na Universidade de Ciências e Tecnologias da Noruega (NTNU) em 2015. Esta instalação de teste é ocupada por pessoas que usam o edifício como sendo a sua própria casa e o foco deste projeto está no uso de tecnologias inovadoras como o controlo inteligente de equipamentos, interfaces interativas entre o utilizador e a instalação e interação entre os ocupantes e todo o sistema de energia associado ao edifício [13].

Assim, ao simular um edifício habitado, realizando testes do desempenho de soluções inovadoras na área da flexibilidade energética e monitorizando o comportamento físico do edifício, e da forma como os seus ocupantes interagem com o mesmo, os objetivos principais deste projeto são [13]:

- Avaliar o desempenho de um edifício NZEB;
- Realizar testes nos diversos equipamentos da instalação elétrica; e
- Aplicar e testar o sistema de monitorização desenvolvido projetado para ser flexível, expansível e reconfigurado.

O edifício possui equipamentos de geração solar para que a energia renovável assim produzida assegure, sempre que possível as necessidades energéticas do mesmo.

O sistema associado ao projeto mede fatores como a temperatura, pressão e humidade do ar exterior, a irradiância solar no plano horizontal e vertical, a velocidade e direção do vento e a concentração de CO₂ para, assim, atuar em sistemas como a ventilação mecânica, o aquecimento por meio de dispositivos independentes e convencionais, a temperatura do ar no interior do edifício e o controlo da abertura e fecho das janelas.

Este projeto insere-se nos *Living Labs* uma vez que recorre ao armazenamento de energia para fazer a gestão e controlo automático de determinadas cargas associadas aos equipamentos do edifício e que permite que os utilizadores interajam com o sistema.

Este projeto foca-se no armazenamento de energia térmica para gerir o funcionamento da instalação elétrica associada ao edifício.

Na figura 2.20 encontra-se um esquema representativo do sistema completo de gestão de energia instalado no edifício de teste associado ao projeto, onde se encontram indicadas as tecnologias para conversão e armazenamento de energia solar e elétrica e as diferentes aplicações associadas ao consumo dessa energia.

As siglas TEM, EEM e PEM, são atribuídas aos sistemas de medição da energia que é entregue ao edifício sob diversas formas, como aquecimento, ventilação, iluminação e alimentação de eletrodomésticos e outros equipamentos presentes no edifício.

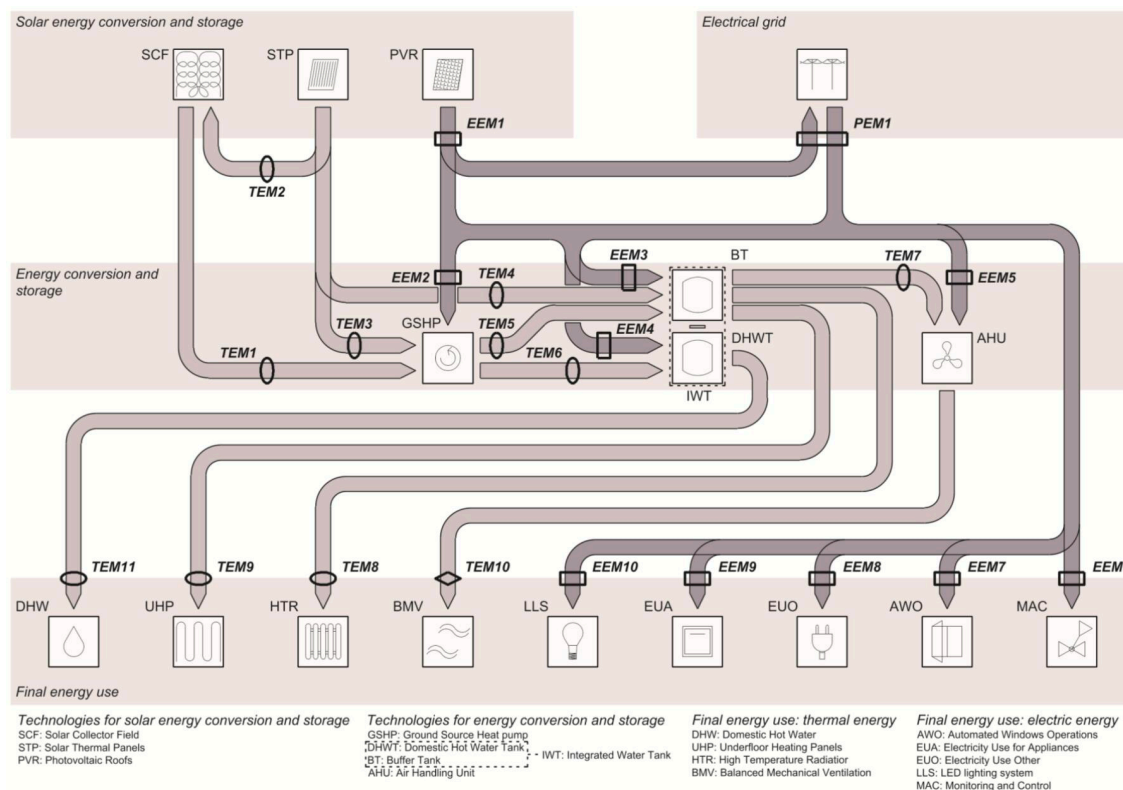


Figura 2.20 - Fluxo de energia térmica e elétrica através do edifício e tecnologias e dispositivos para conversão e armazenamento de energia – Sistema de monitorização associado [14]

De seguida, encontram-se descritas as diferentes tecnologias presentes no sistema ilustrado na figura 2.20.

Tecnologias e componentes para aquecimento e ventilação

A energia térmica necessária para assegurar o aquecimento do edifício e da água para uso doméstico é obtida através de um sistema que realiza trocas de calor com o solo agregado a uma bomba de calor (GSHP) e de coletores solares. Estes dois sistemas estão ligados a um tanque de armazenamento de energia sob a forma de calor onde é armazenada a água quente destinada ao aquecimento [15].

O princípio do sistema de aquecimento do edifício encontra-se ilustrado na figura 2.21:

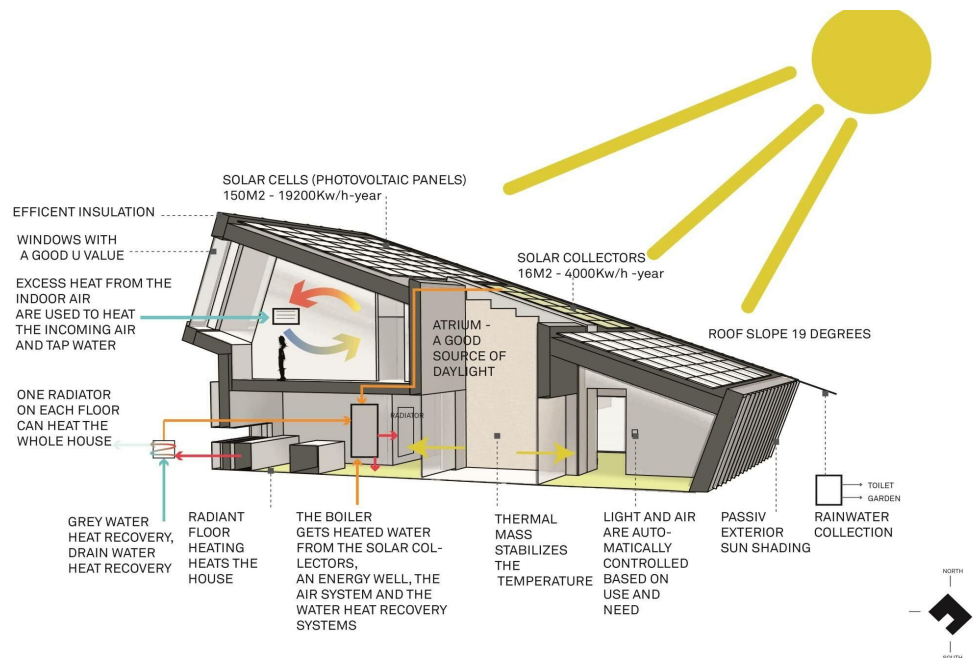


Figura 2.21 - Sistema de aquecimento do edifício [15]

Relativamente às aplicações do sistema de aquecimento, estão instaladas duas unidades terminais distintas que conferem a possibilidade de teste perante dois cenários diferentes. Uma das unidades é o aquecimento do piso e a outra é um radiador de alta temperatura (55° C) [14]. Existe também, em cada divisão, um *setpoint* para a temperatura ambiente no interior do edifício.

Associado à unidade de controlo do ar está um controlador integrado que utiliza o protocolo de comunicação *Modbus* para gerir a unidade.

Tecnologias associadas à iluminação artificial

A instalação de iluminação artificial do *Living Lab* baseia-se em iluminação LED onde todas as luminárias são controladas pelo sistema de controlo do edifício, podendo variar o seu nível de intensidade de 0 a 100%. A iluminação pode ser controlada através de uma interface com o utilizador uma vez que o edifício está equipado com interfaces físicas (interruptores) e virtuais (*touch screen*) para ligar, desligar e variar a intensidade luminosa das luminárias. O sistema de controlo central do edifício regista o estado dos sinais relativos à iluminação e atua em 24 relés para gerir o sistema de iluminação [14].

Características físicas do ambiente exterior

O sistema contém uma estação meteorológica, instalada no topo do edifício, que agrega vários sensores para medir a temperatura exterior, a humidade relativa, a pressão atmosférica, a velocidade do vento e a irradiância solar no plano horizontal e vertical. A comunicação entre a estação meteorológica e o controlador do sistema é feita através do protocolo *Modbus* [14].

Características físicas do ambiente interior e ocupação do edifício

Relativamente aos dados medidos no interior do edifício, é recolhida a temperatura interior em cada sala, a humidade relativa, concentração de dióxido de carbono, nível de iluminação difusa, dados de deteção de movimento e estado das janelas (abertas ou fechadas) [14].

Aquisição de dados

O sistema de aquisição de dados recolhe os dados referidos anteriormente e tem as seguintes tarefas [14]:

- Recolher dados relativos aos hábitos dos ocupantes do edifício, nomeadamente a ocupação das salas, a concentração de dióxido de carbono no edifício, a iluminação difusa e sistemas de sombreamento;
- Medir a energia empregue em cada sistema, nomeadamente na ventilação, aquecimento iluminação artificial e alimentação de eletrodomésticos;
- Quantificar a energia solar produzida pelos coletores solares e painéis fotovoltaicos e a energia provinda da rede elétrica.

A aquisição dos dados recolhidos pelos sensores e transdutores é feita através do sistema *compactRio* baseado numa estrutura modular, onde os controladores, dispositivos e módulos podem ser combinados livremente para atender às exigências de medição pretendidas. Este sistema é controlado usando o código de programação *LabView*.

2.2. Comparação entre *Living Labs* mencionados

De seguida apresentam-se duas tabelas onde é feita a comparação entre os tipos de dados medidos e as ações realizadas por cada *Living Lab* referidos na secção 2.1. Na tabela 2.1 apresenta-se uma comparação entre o tipo de dados

medidos nos projetos apresentados na secção 2.1 e na tabela 2.2 são comparadas as ações por estes realizadas.

Tabela 2.1 - Comparação entre os tipos de dados medidos nos *Living Labs* apresentados

Tipo de dados medidos	Sensible	Monitorização e controlo automático de energia	IoT based smart buildings	ZEB <i>Living Lab</i>
Energia Renovável produzida	✓	✗	✓	✓
Energia Renovável consumida	✓	✗	✓	✓
Energia da rede consumida	✓	✓	✓	✓
Dados do carregamento da bateria	✓	✗	✗	✗
Consumo de cada eletrodoméstico	✗	✓	✗	✗
Nível de iluminação	✗	✓	✓	✓
Nível de presença	✗	✓	✓	✓
Dados meteorológicos	✗	✗	✓	✓

Tabela 2.2 - Comparação entre as ações realizadas pelos *Living Labs* apresentados

Ações realizadas	Sensible	Monitorização e controlo automático de energia	IoT based smart buildings	ZEB <i>Living Lab</i>
Produção de energia renovável	✓	✗	✗	✓
Armazenamento de energia	✓	✗	✗	✓
Sistema de gestão de energia configurável (interface)	✗	✗	✓	✗
Controlo automático da temperatura	✗	✗	✓	✓
Controlo automático da iluminação	✗	✓	✓	✓
Controlo automático da ventilação	✗	✗	✓	✓
Controlo automático individual dos eletrodomésticos	✗	✓	✗	✗

Note-se que o projeto *Sensible* apresenta um sistema que fornece dados como os períodos em que há maior produção de energia solar fotovoltaica, auxiliando assim o utilizador a decidir os horários mais favoráveis para ligar os seus eletrodomésticos. Este projeto tem ainda a particularidade de realizar o armazenamento da energia quando a sua produção excede a sua necessidade de consumo. Este projeto atua automaticamente nas cargas e equipamentos, uma vez que os termoacumuladores são controlados de forma automática. Relativamente aos projetos referidos nas secções 2.1.2 e 2.1.3, permitem uma atuação automática e direta nas cargas e equipamentos, mas não permitem o armazenamento de energia, enquanto que o projeto referido em 2.1.4 realiza tanto a atuação automática como o armazenamento de energia. O projeto referido em 2.1.2 apresenta a vantagem de controlar o consumo de cada eletrodoméstico individualmente, e o projeto referido em 2.1.3 apresenta a vantagem de oferecer

ao utilizador a possibilidade de projetar o próprio sistema de gestão de energia, através de um *software*.

2.3. Standards e protocolos de comunicação associados a *Living Labs*

Uma vez que esta dissertação se enquadra no tema da gestão de energia associada ao conceito de *Living Labs* e, integrando tecnologia, é pertinente apresentar neste subcapítulo os standards e protocolos de comunicação mais utilizados para fazer a aquisição de dados, em particular dados relacionados com a produção e o consumo de energia.

Para auxiliar a compreensão das interações da rede de computação, existe o conceito de camadas de rede. Atualmente, existem dois modelos amplamente referenciados, nomeadamente o modelo OSI e o modelo TCP/IP, onde o conceito de ambos os modelos é semelhante, mas as camadas de cada um são diferentes. O modelo OSI é composto por sete camadas: a camada física, onde se insere o *hardware*, a camada de link de dados, que transforma a informação binária em sinais que são necessários nas camadas mais superiores, a camada de rede, que determina como os dados são enviados para o dispositivo recetor, a camada de transporte, que coordena os dados transferidos, incluindo a verificação de erros e a recuperação de dados, a camada de sessão, que estabelece e termina as conexões entre os dispositivos, a camada de apresentação, que converte de e para a camada de aplicação, e a camada de aplicação, que por sua vez é a camada que mais interage com o utilizador. Quanto ao modelo TCP/IP, é composto por apenas quatro camadas, entre elas a camada de acesso à rede, que combina a primeira e segunda camadas do modelo OSI, a camada de internet, que se assemelha à terceira camada do modelo OSI, a camada de transporte, que se assemelha à quarta camada do modelo OSI, e a camada de aplicação, que equivale à quinta, sexta e sétima camadas do modelo OSI [16].

A figura 2.22 representa um mapeamento entre os dois modelos OSI e TCP/IP e os protocolos de comunicação mais comuns.

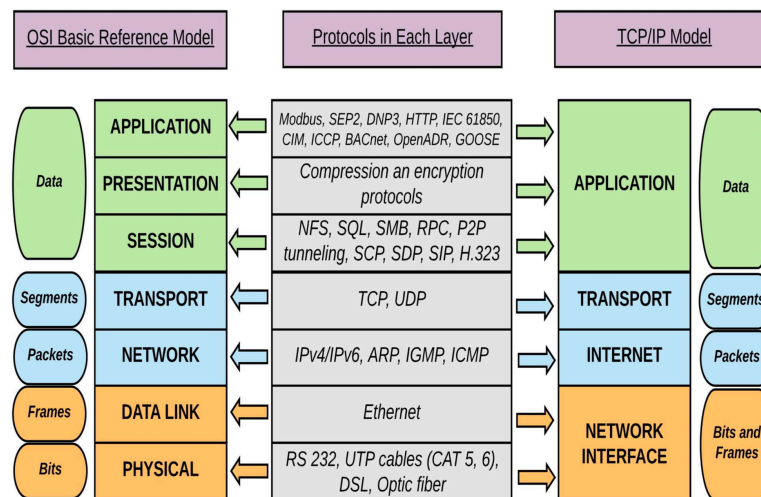


Figura 2.22 - Protocolos de comunicação consoante as camadas dos modelos OSI e TCP/IP [16]

Entre os protocolos / conexões de comunicação mais comuns apresentados, acompanhados dos respetivos standards, por camadas do modelo OSI, destacam-se o protocolo UTP, o RS 232, o DLS e a fibra ótica, pertencentes à camada do meio físico e cujo standard é o IEEE 802.3. Destaca-se também o protocolo Ethernet, pertencente à camada de link de dados, cujos standards são o IEEE 802.1 e o IEEE 802.3, o IPV4/IPV6, o ARP, o IGMP e o ICMP, pertencentes à camada de rede e cujo standard é o IEFT, o protocolo TCP e o UDP, pertencentes à camada de transporte e cujos standards são o IEFT e o DARPA. Destaca-se ainda os protocolos NFS, SQL, RPC, P2P, SCP, SDP, SIP, pertencentes à camada de sessão, os protocolos de encriptação e os protocolos modbus, HTTP, ICCP, BACnet, openADR, GOOSE, pertencentes à camada de aplicação [16].

Focando a abordagem aos protocolos de comunicação mais utilizados em sistemas de medição de dados relacionados com a produção e o consumo de energia elétrica, destacam-se alguns standards e tecnologias recomendadas para tal.

Os contadores inteligentes permitem a comunicação entre o contador e o sistema de leitura remoto. A área mais crítica na tecnologia associada aos analisadores de energia é a comunicação [17]. De entre os analisadores de energia, destacam-se os *smart meters*, que são dispositivos eletrónicos que medem e armazenam dados de consumo de eletricidade e transmitem esses dados através de um canal de comunicação às centrais de monitorização [17].

As tecnologias de comunicação mais utilizadas nos *smart meters* são as redes de comunicação móvel (GSM/ GPRS), as comunicações via satélite, as redes de rádio e a comunicação através de linhas de energia (PLC e DLC). O tipo de rede de comunicação é também crítico e as mais comuns são as redes *wireless* fixas, as redes *wireless* em mecha, redes Wi-Fi e redes de Internet [17].

Dentro das tecnologias *wireless*, destacam-se os standards abertos, ou seja, standards que não possuem proprietários. Entre eles, os mais utilizados em *smart meters* são o IEEE 802.15.1 (Bluetooth), o IEEE 802.15.4 (WPAN), o Zigbee, o 6LoWPAN, o IEEE802.11 (WLAN/WiFi), o IEEE 802.16 (WiMAX), o 2G/ 2.5G GSM/GPRS/EDGE, o 3G/UMTS, o LTE, o PMR e os sistemas de satélite. Dentro das tecnologias com fio, destacam-se de entre os standards de comunicação mais utilizados o IEC 62056, o IEC 61107, o DLMS/COSEM, o IEC 61850 e UCA 2.0, o IEEE 61968-9, o EURIDIS, o ADSL e o M-BUS [17]. A figura 2.23 mostra a distribuição dos standards e protocolos referidos, ao longo das 7 camadas do modelo OSI.

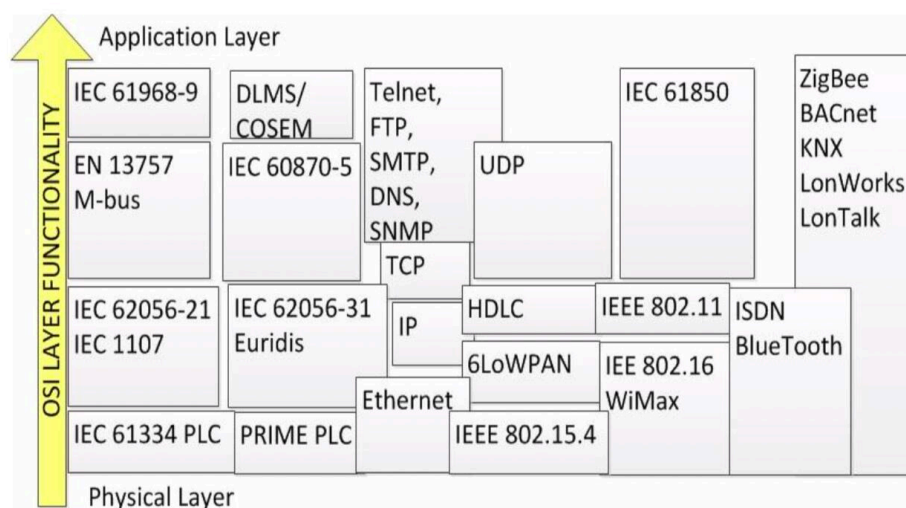


Figura 2.23 - Localização dos standards referidos nas camadas do modelo OSI [17]

Note-se que atualmente não existe um tipo de comunicação ótimo e único que possa ser empregue em todos os dispositivos de medição.

3

Parte conceptual do sistema

Este capítulo apresenta uma abordagem ao projeto desenvolvido no âmbito da presente dissertação, onde o sistema é descrito do geral para o particular. Inicialmente, é feita uma abordagem ao sistema desenvolvido, enquanto *Living Lab*, e é também apresentada a arquitetura do modelo conceptual do sistema. De seguida, é feita uma descrição do protocolo de comunicação utilizado, nomeadamente o protocolo *modbus*, por ser o protocolo que os equipamentos do sistema a implementar aceitam e por ser um protocolo aberto.

3.1. O sistema como um *Living Lab*

Como referido no capítulo 1, o projeto desenvolvido enquadra-se no conceito de *Living Lab*, onde o produto final permite a visualização e o estudo dos dados recolhidos pelo sistema desenvolvido, verificando-se uma constante interação com os utilizadores. O caso de estudo associado à presente dissertação apresenta-se como um projeto de teste e de análise dos dados recolhidos, num contexto real, e possui equipamentos de geração solar e eólica para que a energia renovável assim produzida assegure parte das necessidades energéticas do edifício.

Fazendo a analogia entre os elementos de um *Living Lab* e os principais componentes do sistema desenvolvido, destaca-se o ambiente do caso de estudo, em particular um edifício, que por sua vez engloba as fontes de onde os dados são provenientes, a integração de tecnologias, nomeadamente o sistema de recolha, aquisição e processamento de dados, e a interação entre o sistema e os utilizadores, especificamente o sistema de monitorização com os utilizadores (figura 3.1).

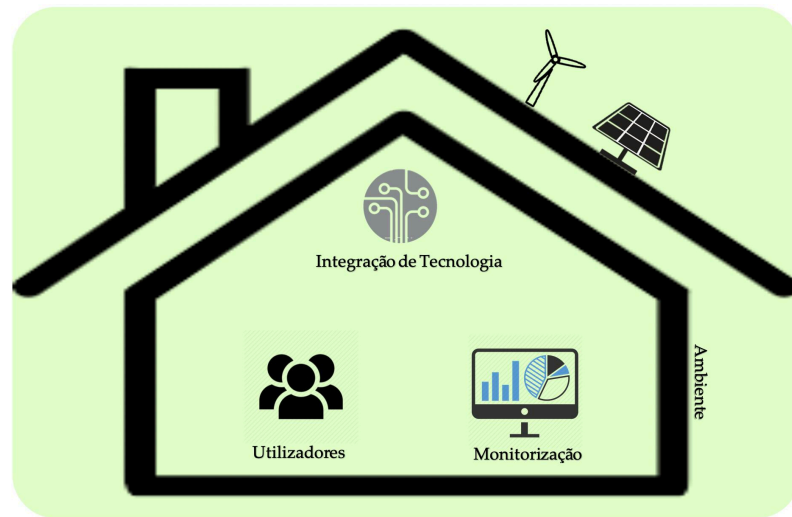


Figura 3.1 - O sistema como um *Living Lab*

Os principais objetivos deste *Living Lab* são a produção de energia renovável, a aquisição dos dados de produção e consumo de energia e dados meteorológicos, a visualização e monitorização dos dados recolhidos em tempo real e em formato de histórico e a análise desses dados.

Este sistema permite uma atuação indireta no consumo de energia do edifício, uma vez que fornece aos utilizadores informações como quais os períodos de maior produção de energia e quais as alturas do dia onde as condições meteorológicas são mais favoráveis à produção de energia.

3.2. Descrição do modelo conceptual do sistema

O sistema desenvolvido apresenta uma arquitetura que segue o conceito de modularidade, sendo composto por cinco camadas (sistema físico, aquisição de dados, tratamento de dados, armazenamento e gestão e utilizadores e aplicações), contendo blocos que compõem a sua estrutura, onde cada um realiza uma função específica. Agregando as camadas, obtém-se o sistema completo, que recorre a cada bloco e às suas funcionalidades para obter o comportamento final esperado. A figura 3.2 ilustra a arquitetura do sistema, apresentando os blocos que o compõem, onde se destaca o *hardware*, o *software*, a Interface Humano-Máquina, a *cloud* e os utilizadores e serviços.

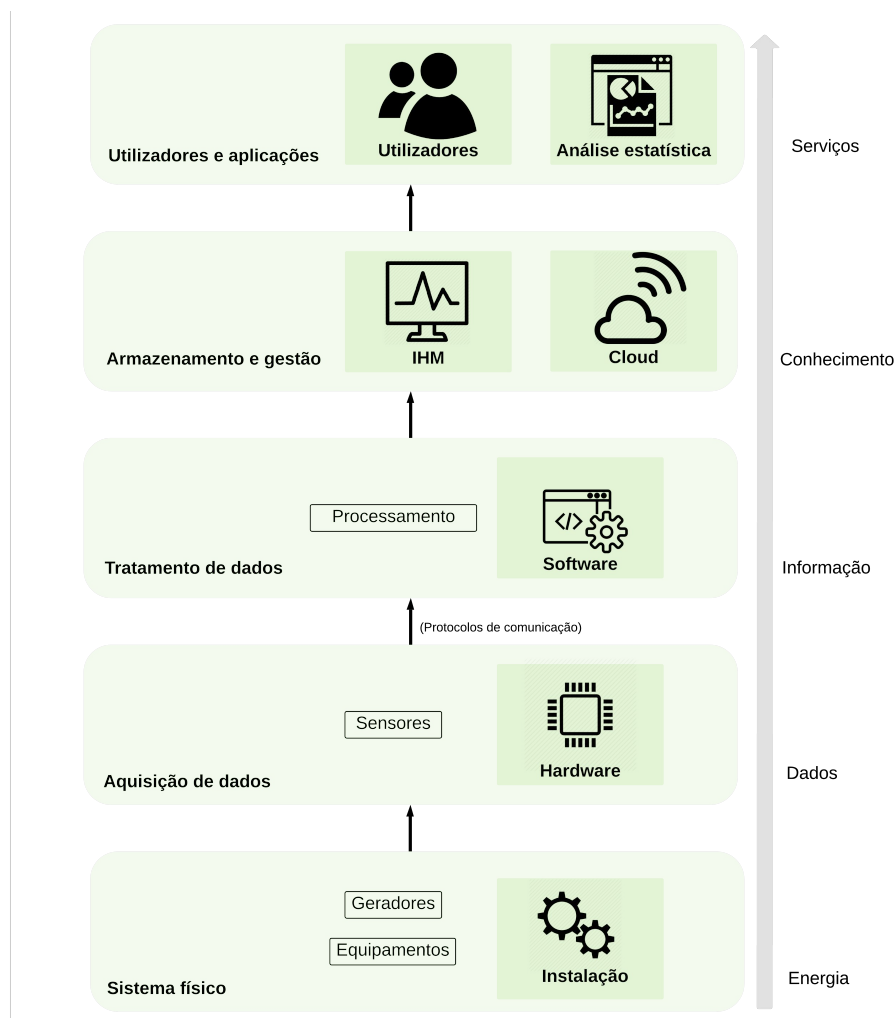


Figura 3.2 - Arquitetura do modelo conceitual do sistema

A camada de aquisição de dados integra o *hardware* necessário à recolha de dados do meio envolvente usando sensores, sistemas de aquisição e sistemas de medição e contagem. Com o auxílio de protocolos de comunicação, os dados recolhidos nesta camada são enviados para a camada de tratamento de dados, que contém o bloco de software, onde se encontra a parte lógica composta por um conjunto de instruções e cujo objetivo principal neste sistema é processar, aglomerar, e organizar os dados de forma a obter o valor de cada parâmetro lido (informação). A camada de tratamento de dados relaciona-se também com a camada de armazenamento e gestão que contém a *cloud*, que por sua vez representa o armazenamento da informação recolhida e a disponibilidade da mesma, e a IHM (Interface Humano-Máquina), que é responsável por permitir a interação entre o utilizador (operador da instalação) e o sistema físico, oferecendo assim ao utilizador o conhecimento acerca do comportamento do sistema. Por último, a camada de utilizadores e aplicações engloba os utilizadores e os serviços. Os utilizadores dividem-se em dois grupos: os operadores da instalação, que acedem à IHM, e os utilizadores que têm acesso aos dados através

de serviços e aplicações. Com os dados disponíveis na *cloud*, pode implementar-se alguns serviços que utilizem os dados recolhidos, sendo o processamento estatístico um exemplo.

Fazendo a ponte entre a figura 3.2, que representa a arquitetura do modelo conceptual do sistema, e o diagrama de blocos do mesmo, apresenta-se na figura 3.3 os blocos que indicam, para cada camada da arquitetura, os componentes que o sistema desenvolvido possui para realizar as tarefas de aquisição, tratamento, armazenamento e gestão de dados.

O sistema implícito no projeto desenvolvido encontra-se ilustrado na figura 3.3, agrupado em blocos onde são apresentados e relacionados os principais componentes do modelo conceptual do sistema. Como ponto de partida, considera-se as fontes de energia renovável, como o sol e o vento, que permitem a recolha de dados meteorológicos e também a produção de energia eólica e solar fotovoltaica. Considerando também os dados relativos ao consumo geral de energia do edifício DEEC (recolhidos pelo QGBT) e os dados relativos ao consumo do sistema AVAC, é realizada a medição dos dados de energia e dos dados meteorológicos, com a finalidade de obter a informação acerca de parâmetros como a velocidade e direção do vento, temperatura ambiente, energia consumida e produzida, entre outros que serão apresentados detalhadamente no capítulo 4. O projeto inclui ainda o dimensionamento de um sistema autónomo de alimentação do sistema de medição de dados meteorológicos.

Os dados obtidos pelos sistemas de medição são enviados para um microcontrolador que os irá receber, processar, agregar e enviar para um sistema de gestão de bases de dados. Paralelamente, os dados serão também apresentados ao utilizador, em tempo real, através de uma interface gráfica.

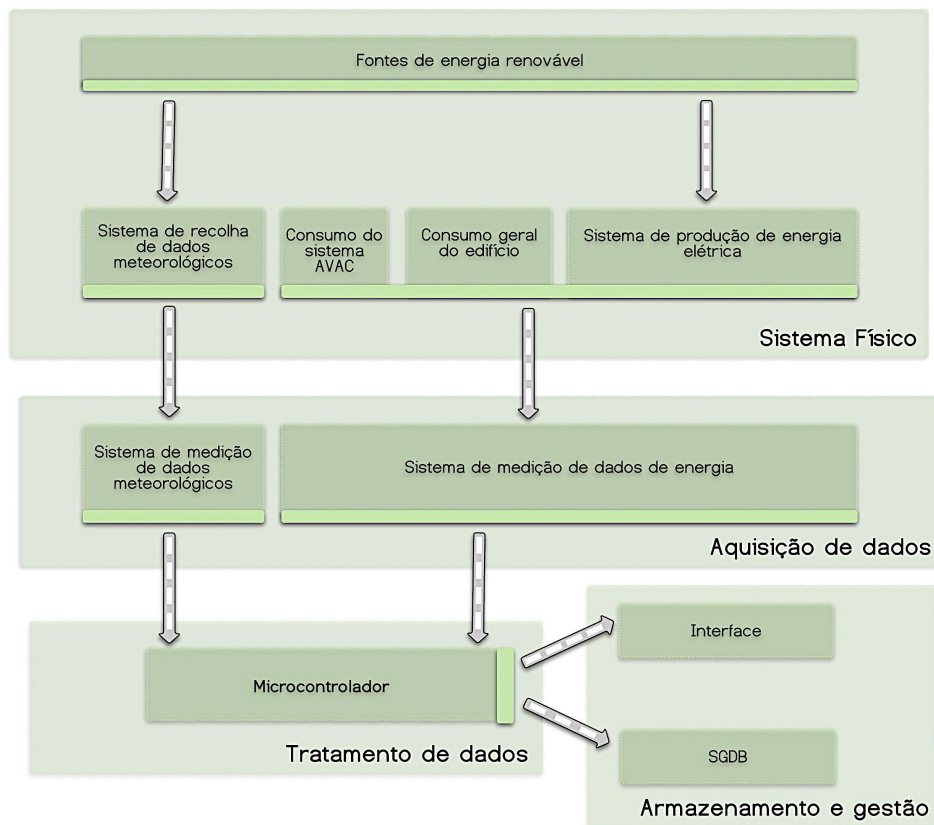


Figura 3.3- Diagrama de blocos do modelo conceitual do sistema

O foco do projeto inserido na presente dissertação é a aquisição e agregação dos dados recolhidos e obtidos pelos sistemas de medição. Essa agregação é feita pelo microcontrolador que, para isso, tem de comunicar com os sistemas de medição para poder receber os dados que estes obtêm. Uma vez que estes dois módulos comunicam entre si via comunicação série, obedecendo aos *standards* de comunicação, ao nível do meio físico, RS-232 e RS-485 do protocolo *modbus*, na próxima secção será feita uma abordagem ao protocolo *modbus* e ao respetivo modo que foi adotado.

3.3.O protocolo de comunicação *modbus*

Num sistema com diversos dispositivos eletrónicos e subsistemas computacionais que necessitem de comunicar entre si, é necessário seguir um protocolo de comunicação, de forma a que a conexão, comunicação e transferência de dados entre eles seja possível.

O protocolo de comunicação *modbus* pertence à sétima camada do modelo OSI (camada de aplicação) e é uma convenção utilizada para transferir informação entre diversos dispositivos. Esta comunicação é caracterizada pela existência de um dispositivo que solicita a informação (*master*) e por um ou mais dispositivos que fornecem a informação pedida pelo mestre (*slaves*), sendo que este tipo de comunicação suporta um máximo de 247 *slaves* ligados ao mesmo *master*. O *master* é responsável por iniciar um pedido e aguardar a resposta, enquanto que o *slave* está encarregue de enviar a informação sempre que o *master* o solicite (figura 3.4).

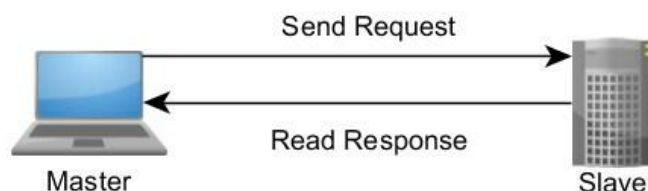


Figura 3.4 - Comunicação *master-slave* (Fonte: www.ni.com)

Ao nível da mensagem, o pedido enviado pelo *master* e a resposta enviada pelo *slave* têm o formato apresentado na figura 3.5, onde consta o endereço do *slave*, o código da função, os bytes com os dados e um campo para verificação de erros [18].

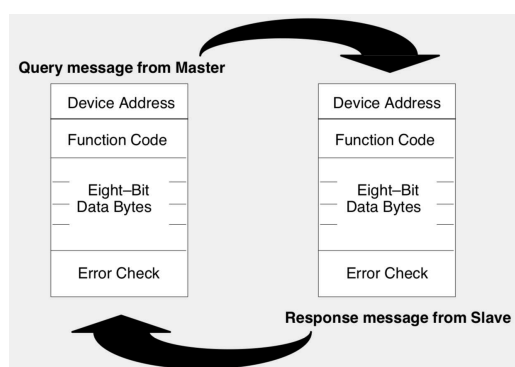


Figura 3.5 - Ciclo pedido-resposta comunicação *master-slave* (Fonte: www.modbus.org)

Do lado do *master*, o campo de endereço contém o endereço do *slave* com quem o *master* deseja comunicar, sendo que cada *slave* possui um endereço de 1 a 247. No campo do código da função, o *master* informa o *slave* acerca do tipo de ação que deve ser executada. O campo dos dados contém alguma informação extra que o *slave* precisará para executar a função e permite que o *master* informe o *slave* acerca do registo inicial e do número de registos que devem ser lidos. Por

fim, no campo de verificação de erros, o *master* fornece ao *slave* um método que o permite validar a integridade do conteúdo da mensagem [18].

Do lado do *slave*, o campo do endereço corresponde ao seu próprio endereço. Se não ocorrer nenhum erro, o campo da mensagem do *slave* correspondente ao código da função é um eco do código da função que consta na mensagem recebida do *master*. O campo dos dados contém os dados recolhidos pelo *slave* na forma de valores de registo ou estado. Caso ocorra algum erro, o código da função é modificado, de forma a indicar que a resposta é uma resposta de erro e no campo de dados consta um código que descreve o erro ocorrido. O campo de verificação de erros informa ao *master* se o conteúdo da mensagem é válido [18].

As especificações que constituem o ciclo pedido-resposta referidas na figura 3.5 são fixas, na medida em que não podem ser escolhidas pelo utilizador. Contudo, o modbus contém outras especificações, como o meio e o modo de transmissão, o *baud rate*, a paridade e o número de *stop bits* que podem ser escolhidas pelo utilizador.

Ao nível do meio físico, o protocolo modbus pode utilizar vários *standards* de comunicação, sendo os mais comuns o RS-232, o RS-422 e RS-485. A norma RS-232 é utilizada sobretudo em comunicações ponto a ponto em curtas distâncias (onde o *master* envia um pedido a um e a um só *slave*), tal como a norma RS-422 que representa uma versão bidirecional da norma RS-232 e que suporta longas distâncias. A norma RS-485 pode ser empregue na comunicação multiponto, onde vários dispositivos podem estar conectados ao mesmo cabo (um *master* ligado a *n slaves*). Na figura 3.6 apresenta-se várias configurações possíveis para a rede de comunicação *master-slave*, consoante os vários *standards* de comunicação.

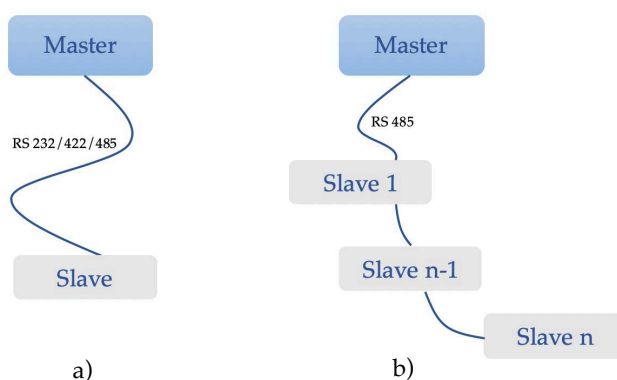


Figura 3.6 - *Standards* de comunicação *master-slave*; a) Comunicação ponto a ponto; b) comunicação multiponto

Relativamente aos modos de transmissão, o protocolo *modbus* possui dois modos para a transmissão em linha série (*modbus RTU* e *modbus ASCII*) e um modo de transmissão *Ethernet* (TCP/IP). Estes modos de comunicação diferem na codificação, no enquadramento e na verificação de erros, consoante o seu meio físico.

A mensagem associada ao protocolo *modbus* possui um PDU, independentemente do meio físico a que recorre. Na transmissão em linha série, a mensagem genérica associada ao protocolo *modbus* tem o formato apresentado na figura 3.7 e é composta por dois campos adicionais ao PDU, nomeadamente o campo do endereço do *slave* e o campo de verificação de erros [19].

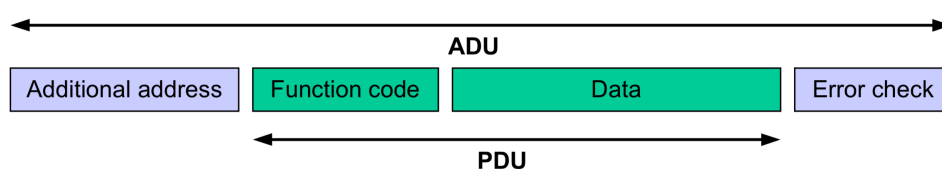


Figura 3.7 - Formato da mensagem *modbus* linha série [19]

Na transmissão em linha série, o modo *RTU* é um modo de transmissão onde os endereços e valores são representados no formato binário. Cada mensagem é transmitida numa sequência de “*words*” (1 “*word*” equivale a 16 bits), uma vez que, para cada byte a transmitir, são codificados dois caracteres hexadecimais (1 “*word*”). Na tabela 3.1 apresenta-se o número de bytes para cada campo da mensagem *modbus*, no modo *RTU*, onde o algoritmo para verificação de erros é o CRC [19].

Tabela 3.1 - Formato da *frame* em *modbus RTU*

Endereço	Função	Dados	Verificação erros (CRC)
1 byte	1 byte	n bytes	2 bytes

Ainda na transmissão em linha série, no modo *ASCII*, cada byte da mensagem *modbus* é enviado como dois caracteres *ASCII*. A tabela 3.2 apresenta o número de bits para cada campo da mensagem *modbus*, no modo *ASCII*, onde o algoritmo para verificação de erros é o LRC [19].

Tabela 3.2 - Formato da *frame* em *modbus* ASCII

Início	Endereço	Função	Dados	Verificação erros (LRC)	Fim
1 <i>char</i>	2 <i>chars</i>	2 <i>chars</i>	n <i>chars</i>	2 <i>chars</i>	2 <i>chars</i> CLRF

O modo RTU permite um processamento de dados mais eficaz que o modo ASCII, pois o modo RTU possui uma grande densidade de caracteres.

A mensagem enviada pelo *master*, segundo o modo RTU, possui um início e um fim definidos e um intervalo de silêncio de, pelo menos, 3,5 tempos de caracter entre duas *frames* consecutivas (figura 3.8).

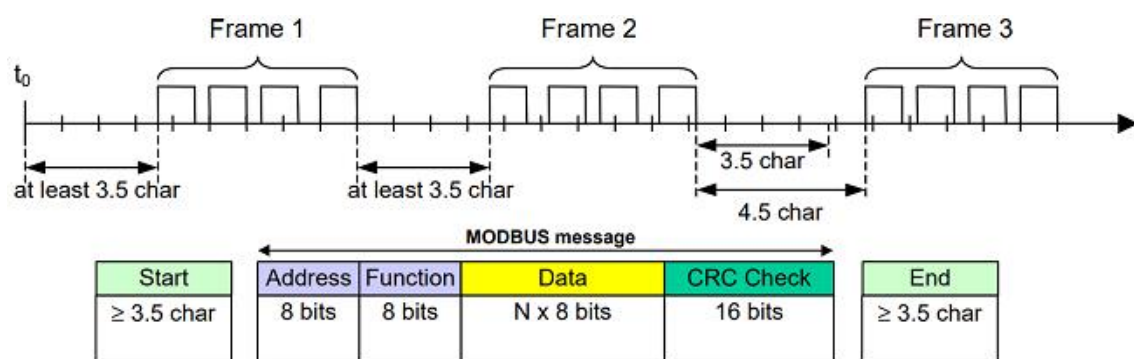


Figura 3.8 - Quadro de mensagem modbus (modo RTU) [18]

O início e fim da mensagem permitem que o recetor da mensagem, ao receber a *frame*, saiba quando a mensagem está totalmente recebida, de forma a conseguir detetar possíveis erros (mensagens parciais geram códigos de erro). Caso seja gerado algum código de erro, este é enviado ao *master* [18].

Relativamente à transmissão de mensagens no modo TCP/IP do modbus, este utiliza a Ethernet como meio físico e o formato da mensagem modbus encontra-se ilustrado na figura 3.9.

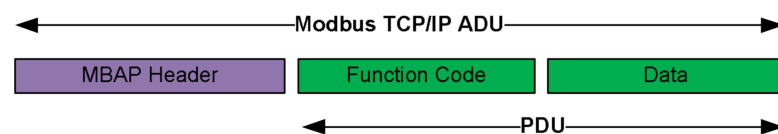


Figura 3.9 - Formato da mensagem modbus TCP/IP [19]

A mensagem associada ao protocolo modbus no modo TCP/IP possui um campo adicional ao PDU designado de MBAP *header*. Neste cabeçalho constam várias informações, nomeadamente os identificadores da transação e do protocolo, o comprimento da *frame* para informar o recetor acerca do tamanho da mensagem, o código da função, o endereço do primeiro registo solicitado e o número total de registos solicitados [19].

O modbus TCP/IP possui a particularidade de permitir que um equipamento possa assumir o papel de servidor e de cliente simultaneamente, sendo possível que exista mais do que um mestre. É ainda possível que sejam estabelecidas novas conexões sem que as conexões em curso sejam terminadas [19].

4

Implementação

Neste capítulo é feita uma descrição detalhada da forma como cada bloco do modelo conceptual do sistema foi considerado no caso de estudo presente no capítulo 3 e é ainda apresentada a forma como o projeto foi implementado.

4.1. Descrição dos componentes do sistema

Como referido no capítulo 3, o sistema recolhe dados meteorológicos, dados provenientes de fontes de energia renovável, nomeadamente dados de microgeração de energia, e também dados relativos ao consumo geral do edifício e do sistema AVAC. Como se pode observar na figura 4.1, os dados meteorológicos são recolhidos por uma estação meteorológica constituída por 3 sensores, um termómetro, um piranómetro e um anemómetro que recolhem dados relativos ao sol e ao vento. O sistema AVAC é composto por um *chiller* que está encarregue do sistema de climatização do edifício e o QGBT recolhe os dados de consumo do mesmo. Relativamente ao sistema de microgeração de energia renovável, este é composto por um conjunto de painéis solares fotovoltaicos e por um gerador eólico. Os dados meteorológicos são disponibilizados pelo *datalogger*, alimentado por uma bateria que é carregada pela energia gerada por um painel fotovoltaico, e os dados de produção e consumo de energia são medidos por quatro analisadores de energia ligados entre si: um deles mede o consumo de energia do sistema AVAC, outro mede o consumo geral de energia do edifício, outro mede a produção de energia solar fotovoltaica e outro mede a produção de energia eólica.

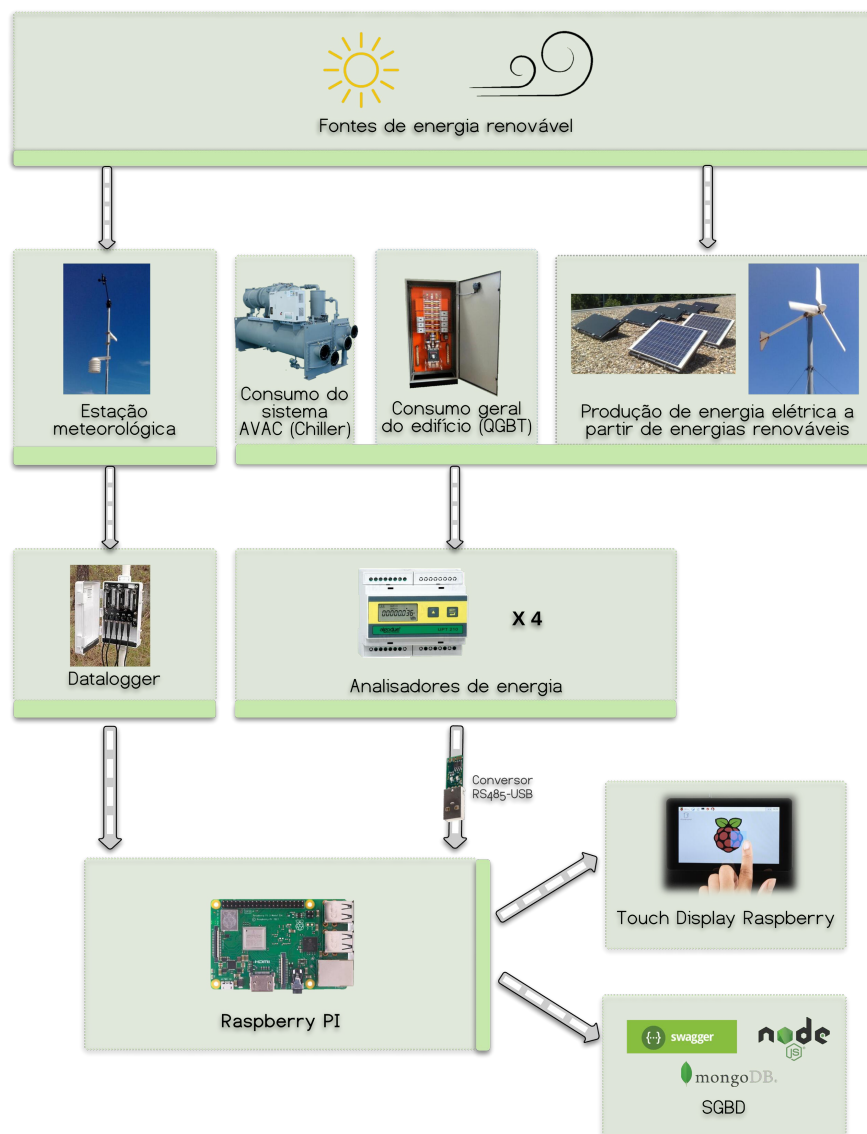


Figura 4.1 - Diagrama de blocos dos componentes do sistema

Depois de obtidos, os dados são enviados para o microcontrolador, via comunicação série obedecendo ao protocolo *modbus* já apresentado no capítulo 3. O microcontrolador utilizado foi um *Raspberry PI* que, pela sua versatilidade, capacidade e desempenho foi escolhido para integrar este sistema. Para auxiliar a comunicação entre o microcontrolador e os analisadores de energia, foi utilizado um conversor RS-485 para USB e para o caso da ligação ao datalogger recorreu-se à porta série do *Raspberry*, nomeadamente aos pinos de GND, TX e RX. Mais à frente, neste capítulo, será apresentada a implementação da aplicação *java* que corre no *Raspberry PI* para realizar a comunicação com os analisadores de energia e com o *datalogger* e para enviar os dados recolhidos para um SGBD. Para fazer a interface com o utilizador, o sistema usa um *display Raspberry PI* que permite a visualização de uma aplicação que mostra os dados recolhidos em tempo real.

Nas tabelas 4.1 e 4.2 apresenta-se os parâmetros obtidos pelos analisadores de energia e pelo datalogger, acompanhados das suas unidades.

Tabela 4.1 - Parâmetros meteorológicos medidos pelo datalogger e unidades

Dados de meteorológicos medidos	Unidade
Velocidade do vento	m/s
Direção do vento	°
Velocidade das rajadas do vento	m/s
Irradiância	w/m ²
Temperatura ambiente	°C

Tabela 4.2 - Parâmetros de energia medidos pelos analisadores e unidades

Dados de energia medidos	Unidade
Tensão em cada fase	V
Fator de potência em cada fase	-
Corrente em cada fase	A
Potência aparente em cada fase	VA
Potência ativa em cada fase	W
Potência reativa em cada fase	Var
Frequência na rede	Hz
Energia ativa do sistema importada	Wh
Energia reativa do sistema indutivo importada	VArh
Energia ativa do sistema exportada	Wh
Energia reativa do sistema indutivo exportada	VArh
Energia reativa do sistema capacitivo importada	VArh
Energia reativa do sistema capacitivo exportada	VArh

De seguida, segue-se a descrição detalhada de cada componente presente no sistema acima apresentado.

4.1.1. Estação meteorológica

A estação meteorológica encontra-se no topo do edifício do DEEC de forma a recolher os dados meteorológicos, cujos parâmetros estão apresentados na tabela 4.1. É composta por três sensores, nomeadamente um anemómetro, um termómetro e um piranómetro. O anemómetro (figura 4.2) mede a velocidade e a direção do vento, o termómetro (figura 4.3) mede a temperatura ambiente e o piranómetro mede a irradiância (figura 4.4).

O anemómetro que constitui a estação meteorológica é o modelo 6410E da marca *Davis*.



Figura 4.2 - Anemómetro Davis 6410E (Fonte: www.davisinstruments.com)

Este anemómetro é composto por um cata-vento, que mede a direção do vento, por um conjunto de taças de vento que medem a velocidade do vento e por um cabo. Na tabela 4.3 encontra-se as especificações do anemómetro relativamente à temperatura de operação e ao alcance e precisão da medição da direção e velocidade do vento.

Tabela 4.3 - Especificações do anemómetro Davis 6410E.

Especificação	Valor	
	Direção do vento	Velocidade do vento
Alcance	De 0° a 360°	De 0,5 m/s a 89 m/s
Precisão	$\pm 3^\circ$	$\pm 1\text{m/s}$
Temperatura de operação	De -40°C a +65°C	

Quanto ao termómetro da estação meteorológica instalada, é um termístor do modelo ECT da marca *Decagon* e as suas especificações encontram-se na tabela 4.4.



Figura 4.3 - Termómetro *Decagon* ECT (Fonte: www.ictinternational.com)

Tabela 4.4 - Especificações do termómetro *Decagon* ECT

Especificação	Valor
Temperatura de operação	De -40°C a +50°C
Resolução	0,1°C
Tempo de medição	10 ms
Precisão	De -40°C a -20°C $\pm 1^\circ\text{C}$ De -20°C a +5°C $\pm 1^\circ\text{C}$ De +5°C a +40°C $\pm 0,5^\circ\text{C}$ De +40°C a +50°C $\pm 1^\circ\text{C}$

Por fim, o piranómetro que faz parte da estação meteorológica é o modelo PYR SP 110 da *Apogee Instruments*.



Figura 4.4 - Piranómetro *Apogee Instruments* PYR SP 110 (Fonte: www.apogeeinstruments.com)

As especificações deste piranómetro encontram-se na tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Especificações do piranômetro *Apogee Instruments* PYR SP 110

Especificação	Valor
Temperatura de operação	De -40°C a +70°C
Resolução	0,1°C
Alcance	De 0 a 1750 w / m ²
Precisão	± 5%
Tempo de medição	<1 ms
Campo de visão	180°

Os três sensores anteriormente referidos compõem a estação meteorológica e cada um deles encontra-se ligado a um *datalogger* através de ligações *stereo*, uma vez que o sinal é dividido em dois canais. O *datalogger* tem a função de adquirir os dados meteorológicos recolhidos pela estação meteorológica e será descrito ao detalhe no seguinte subcapítulo.

4.1.2. Datalogger

O *datalogger* que integra o sistema deste projeto é o modelo EM50 da *Decagon* (figura 4.5). Este realiza leituras instantâneas e tem ainda a capacidade de armazenar 36864 registos. Contém uma porta de comunicação e cinco portos que permitem a ligação de cinco sensores diferentes, apesar de apenas três se encontrarem ligados, como referido anteriormente.



Figura 4.5 - *Datalogger* *Decagon* EM50 e respetivas ligações *stereo*

Este sistema de leitura de dados meteorológicos realiza a conversão analógico-digital convertendo os valores lidos pelos sensores analógicos (em mV) para o formato *raw* (equação 1), armazenando o valor num *unsigned integer* de 16 ou 32 bit, consoante o sensor.

$$(RAW) = \frac{(mV)}{\frac{3000}{4096}} \quad (1)$$

O formato *raw* corresponde ao valor resultante da conversão de analógico para digital que ainda não foi processado. Ao ser processado, o valor no formato *raw* é convertido num valor adequado à unidade de medida associada a cada sensor.

Para obter a informação da leitura em tempo real dos valores associados aos sensores ligados ao *datalogger*, é necessário enviar um comando ao EM50, nomeadamente o comando *scan*, ao qual o *datalogger* responde com o envio dos dados recolhidos pelos sensores a ele ligados. Note-se que, ao fazer um pedido de *scan*, são enviados os valores lidos por todos os sensores ligados ao datalogger, pelo que não é possível obter a leitura dos valores lidos por cada sensor individualmente. A mensagem enviada pelo datalogger com a leitura dos dados dos sensores é sempre composta por 5 valores no formato *raw*, separados por dois espaços e terminando com um carácter de *carriage return* (figura 4.6). Note-se que, neste caso, apenas 3 dos 5 portos possuem sensores, pelo que, na mensagem recebida, os valores RAW4 e RAW5 possuem o valor zero.

RAW1	RAW2	RAW3	RAW4	RAW5	\r
------	------	------	------	------	----

Figura 4.6 - Formato da mensagem enviada pelo EM50.

Os dados medidos pelo datalogger já foram apresentados anteriormente, na tabela 4.1 e as suas especificações encontram-se na tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Especificações do *datalogger* Decagon EM50

Especificação	Valor
Temperatura de operação	De -40°C a +60°C
Fonte de alimentação	5 pilhas AA
Proteção	IP55 (resistente à água e a raios UV)
Memória	1MB (36864 registos) – memória <i>flash</i> não volátil

A Decagon fornece ainda um *software* designado de *ECH2O Utility*, cuja interface se apresenta na figura 4.7, que permite a visualização dos dados recolhidos pelos sensores, em tempo real, através da ligação a um PC. Para isso, o *datalogger* contém um conversor stereo-USB que permite ligar a sua porta de comunicação ao PC.

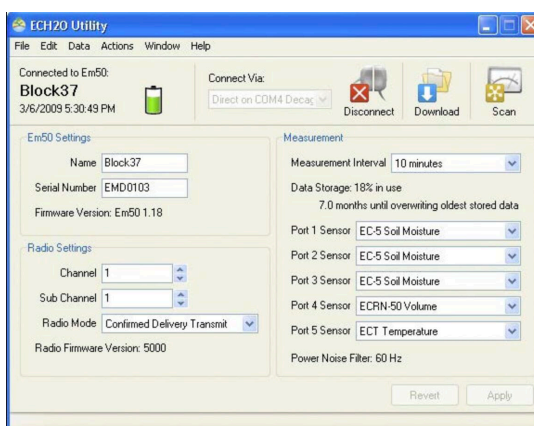


Figura 4.7 - Output do software *ECH2O Utility* da Decagon

4.1.3. Sistemas de medição do consumo de energia elétrica

Fazem parte dos sistemas de consumo de energia o sistema AVAC e o consumo geral do edifício, recolhido pelo QGBT.

Relativamente ao sistema AVAC, é composto por um *chiller* (figura 4.8) que se encontra no topo do edifício do DEEC e que realiza o arrefecimento de água para realizar a climatização do edifício.



Figura 4.8 – Sistema AVAC - Chiller

Relativamente ao consumo geral do edifício, este é recolhido pelo QGBT (figura 4.9) que permite o controlo e proteção dos circuitos a ele ligados.



Figura 4.9 – QGBT (fonte: www.electrics.com)

4.1.4. Produção de energia elétrica

Os sistemas de produção de energia elétrica são sistemas de microgeração de energia provenientes de fontes de energia renovável, em particular o vento e o sol. Assim, o sistema de microgeração é composto por um conjunto de painéis solares fotovoltaicos e por um gerador eólico que se encontram instalados no topo do edifício do DEEC.

Quanto ao conjunto de painéis fotovoltaicos (figura 4.10) incluem sete módulos de painéis fotovoltaicos, sendo cinco do material silício amorfo (modelo BS40 da *Bankok Solar*) e dois do material silício policristalino (modelo SWL 130 da *SWEA*).



Figura 4.10 - Conjunto de painéis solares instalados no topo do DEEC.

O conjunto total de painéis solares está dividido em três subconjuntos, perfazendo uma potência nominal total de 460 Watt. Agregado aos painéis solares fotovoltaicos está ainda um conjunto de três inversores do modelo UWT-I-250 da SWEA (figura 4.11), ligados em paralelo, sendo que cada um deles se encontra ligado a um conjunto de painéis solares.



Figura 4.11 - Inversor SWEA UWT-I-250

As especificações de ambos os modelos de painéis solares referidos anteriormente, em condições STC (irradiância igual a $1\text{kW}/\text{m}^2$ e temperatura da célula de 25°C) apresentam-se na tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Especificações dos diferentes tipos de painéis solares

Especificação	Bankok Solar – BS 40	SWEA – SWL 130
Tensão máxima	44,8 V	40,8 V
Corrente máxima	0,93 A	3,2 A
Potência máxima	40 W	130 W
Tensão de circuito aberto	62,2 V	50,1 V
Corrente de curto circuito	1,14 A	3,21 A

Relativamente ao sistema de geração de energia elétrica a partir do vento, este é composto por um gerador eólico (modelo FD3.6-2000-10L da *Yangzhou Shenzhou Wind-Driven Generator*) que se encontra na figura 4.12 e que é responsável por converter a energia cinética do vento em energia elétrica.



Figura 4.12 - Gerador eólico modelo FD3.6-2000L.10L

Uma vez que o sistema de conversão de energia eólica se encontra conectado à rede elétrica, é necessário produzir uma onda sinusoidal pura e sincronizar a frequência com a rede. Para isso, faz parte do sistema um inversor para conexão à rede (*Grid-Tie Controller* do fabricante SWEA) que se apresenta na figura 4.13.



Figura 4.13 – Controlador de tensão SWEA

Para transformar a corrente contínua vinda do retificador (inversor *Grid-Tie*) em corrente alternada e regular a tensão de saída do gerador, encontram-se instalados dois inversores do modelo WG1K5TL da SUNGROW (figura 4.14).



Figura 4.14 – Inversor SUNGROW modelo WG1K5TL

Na tabela 4.8 encontra-se as especificações do gerador eólico.

Tabela 4.8 - Especificações gerador eólico FD3.6-2000-10L

Especificação	Valor
Potência nominal	2 kW
Tensão nominal	120 V
Diâmetro das pás	3,2 m
Rotação nominal das pás	400 rpm
Gerador	Alternador de magnetos permanentes
Material das pás	Fibra de vidro
Número de Pás	3

Na figura 4.15 encontra-se a curva de potência do gerador eólico. Note-se que esta curva é uma abordagem teórica do comportamento do gerador eólico. Na prática, o comportamento do aerogerador não cumpre exatamente esta curva, uma vez que esta curva é válida à saída do gerador e não após o conversor (que é o ponto onde está a ser efetuada a medição).

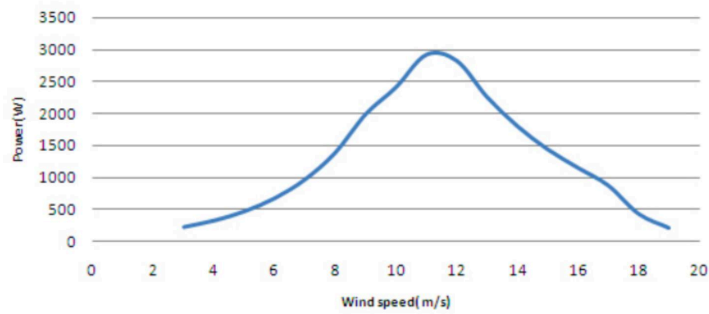


Figura 4.15 - Curva de potência do gerador eólico FD3.6-2000-10L

4.1.5. Analisadores de energia

Para medir a produção e o consumo de energia elétrica, o sistema possui quatro analisadores de energia, cujo modelo é o UPT210 do fabricante *Algodue Elettronica* (figura 4.16). Os analisadores encontram-se ligados em série, para fins de comunicação e obedecem ao protocolo *modbus*, em particular à norma RS485. Para ser possível a comunicação com o microcontrolador, a ligação série dos 4 analisadores está ligada a um conversor RS485 para USB que será descrito no subcapítulo 4.1.6.



Figura 4.16 - Analisador de energia *Algodue Elettronica* UPT210

Os dados medidos pelos analisadores de energia já foram apresentados anteriormente, na tabela 4.2.

4.1.6. Conversor serie para USB

Como referido anteriormente, o sistema recorre a um conversor serie-USB para fazer a interface entre os analisadores de energia e o microcontrolador. Para receber os dados de energia, o *Raspberry PI* recorre a um conversor RS485 para

USB (figura 4.17) que permite o envio dos dados provenientes dos analisadores de energia para o microcontrolador.



Figura 4.17 - Conversor PCB de RS485 para USB (FTDI chip)

O conversor RS485 para USB é um dispositivo PCB de conversão RS485 para USB que possui um pequeno circuito eletrônico interno (FT232R) e um conector USB tipo A. O circuito integrado inclui ainda um transceptor RS485 e um par de LEDs (TX e RX) que fornecem uma indicação visual do tráfego UART.

Na figura 4.18 encontra-se a ilustração dos pins de conexão e detalhes mecânicos do conversor RS485 para USB.

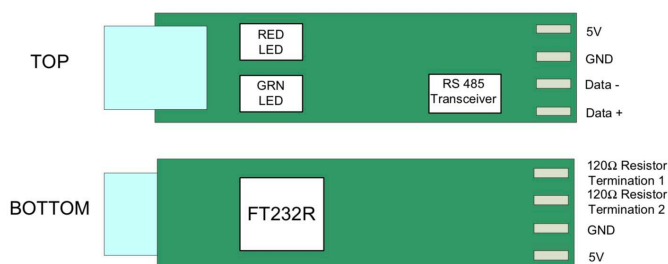


Figura 4.18 - Pins de conexão do conversor RS485-USB (Fonte: www.ftdichip.com)

Na tabela 4.9 encontra-se algumas especificações deste conversor RS485 para USB.

Tabela 4.9 - Especificações do conversor RS485-USB

Especificação	Valor mínimo	Valor máximo
Tensão de saída	4,25 V	5,25 V
Corrente de saída	-	0,25 A
Temperatura de operação	- 40°C	+ 85°C

4.1.7. *Raspberry PI*

O microcontrolador escolhido para este projeto foi o *Raspberry PI 3*, modelo B+ (figura 4.19).



Figura 4.19 - *Raspberry PI 3* modelo B+ (Fonte: www.raspberrypi.org)

O *Raspberry PI* utilizado no projeto possui um processador *Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53* de 64 bit SoC com velocidade de 1,4 GHz. Possui ainda 1 GB de memória SDRAM e quanto à sua conectividade é composto por 4 portas USB 2.0, 1 porta HDMI e uma porta micro USB para ligar o carregador que alimenta o microcontrolador.

Este microcontrolador possui ainda uma entrada para um cartão de formato micro SD para carregar o sistema operativo e armazenar os dados. O sistema operativo instalado é o *Raspbian* (composição de *Raspberry PI* e *Debian*), uma variante do *Debian* baseada no *ARM hard-float*, desenvolvida pela *Raspberry PI Foundation*.

Na tabela 4.10 apresentam-se mais algumas especificações deste microcontrolador.

Tabela 4.10 - Especificações *Raspberry Pi 3 B+*

Especificação	Valor
Entrada de alimentação	5V/ 2,5A (DC)
Temperatura de operação	De 0 a +50°C

4.1.8. *Display Raspberry PI*

Para realizar a interface com o utilizador, o sistema recorre a um display (figura 4.20), também da marca *Raspberry PI* que possui um monitor *touch screen* de sete polegadas. Para a conexão deste *display* com o *Raspberry PI*, é necessário um cabo que o conecta à porta DSI do *Raspberry PI*. O display necessita ainda de ser alimentado através da porta GPIO do *Raspberry PI*.



Figura 4.20 - *Raspberry PI 7" touch screen display* (Fonte: www.farnell.com)

Na tabela 4.11 encontra-se algumas especificações adicionais do *display*.

Tabela 4.11 -Especificações *Raspberry PI 7" touch screen display*

Especificação	Valor
Dimensões do ecrã	194mm × 110mm × 20mm
Tamanho do ecrã visível	155mm × 86mm
Resolução do ecrã	800mm × 480 pixels
Requisitos	Última versão do <i>Raspbian OS</i>

4.1.9. *Serviço de gestão de bases de dados*

Para implementar o SGBD recorreu-se à BD MongoDB, ao interpretador *node.js* e ao software *swagger*.

MongoDB é um *software* de gestão de base de dados de multiplataforma, desenvolvidos em linguagem C++, Go, JavaScript e Python que armazena dados

em documentos semelhantes a JSON. Desta forma, a *MongoDB* usa um modelo diferente do tradicional com linhas/colunas para armazenar os dados. O *software MongoDB* é assim uma alternativa ao *MySQL*, frequentemente usado. Contudo, estes dois softwares de base de dados diferem em alguns aspetos, nomeadamente os comandos e os modelos, já referidos anteriormente.

Node.js é um interpretador de *javascript* com a função de migrar a programação do lado do cliente (*javascript*) para os servidores.

Swagger é um software que faz API e serviços REST.

4.2. Agregação de dados

A implementação do sistema divide-se em duas partes, nomeadamente o sistema de alimentação autónoma do datalogger e o sistema de agregação de dados de consumo e produção de energia e de dados meteorológicos. Nas secções seguintes apresenta-se a implementação de cada uma das partes.

Para a implementação do sistema de agregação de dados, foi necessário executar tarefas tanto a nível de *hardware* como a nível de *software*. Ao nível do *hardware*, foi necessário ligar o conversor rs-485 para USB (figura 4.26) aos analisadores de energia. Foi também necessário efetuar a ligação do *datalogger* à porta série do *Raspberry PI*. Na figura 4.21, apresenta-se as ligações dos analisadores de energia e do *datalogger* ao *Raspberry PI*.

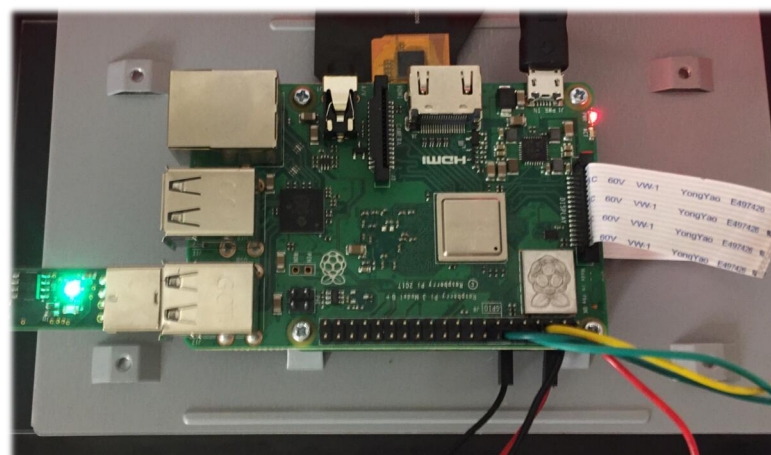


Figura 4.21 - Ligações do PM's e do DL ao Raspberry PI.

A porta série do Raspberry Pi e os seus pinos encontram-se ilustrados na figura 4.22, onde se pode observar os pinos de ligação do *datalogger* e da alimentação do display. O condutor TX do *datalogger* foi ligado ao pino 9 do *Raspberry* (RX) e o condutor RX do *datalogger* foi ligado ao pino 8 do *Raspberry*.

(TX). O display foi ligado aos pinos 4 (5V) e 6 (GND) para alimentar o display através do *Raspberry*.

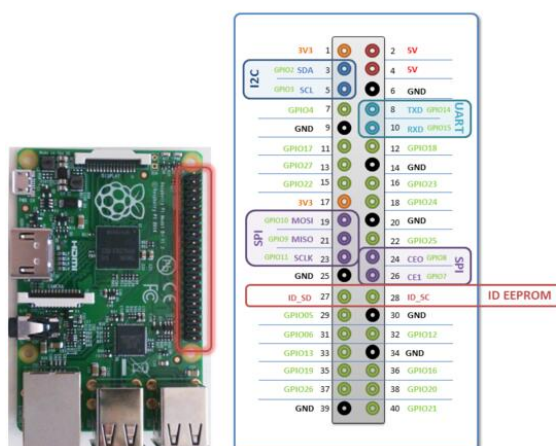


Figura 4.22 - Esquema de pinos da porta série do Raspberry PI (Fonte: esmm.info)

O microcontrolador *Raspberry PI (master)* comunica com os analisadores de energia (*slaves*) segundo o modo de transmissão RTU (linha série) do protocolo modbus anteriormente descrito no capítulo 3. Uma vez que o microcontrolador necessita de comunicar com vários analisadores de energia, a comunicação que entre eles se estabelece é multiponto. O microcontrolador Raspberry Pi (*master*) comunica com o *datalogger (slave)* obedecendo também ao modo de transmissão RTU (linha série) do protocolo modbus, mas, neste caso, a comunicação que se estabelece entre o *master* e o *slave* é ponto a ponto.

Ao nível do *software*, foi desenvolvida uma aplicação na linguagem JavaFX que lê os dados recolhidos pelos analisadores de energia e pelo *datalogger* e os apresenta no ecrã em tempo real. A aplicação efetua ainda, a cada 15 minutos, a média das leituras realizadas e envia as médias calculadas para a base de dados. Caso não seja possível a ligação ao servidor, as leituras são guardadas em dois ficheiros, um com os dados dos analisadores de energia e outro com os dados meteorológicos e, assim que possível, os dados são enviados para a base de dados. Na figura 4.23 encontra-se um fluxograma que resume os processos gerais da aplicação. Note-se que as funções destacadas a cor amarela serão explicadas ao pormenor mais à frente neste capítulo, por se tratar das funções que fazem a leitura dos dados dos analisadores de energia e do *datalogger*.

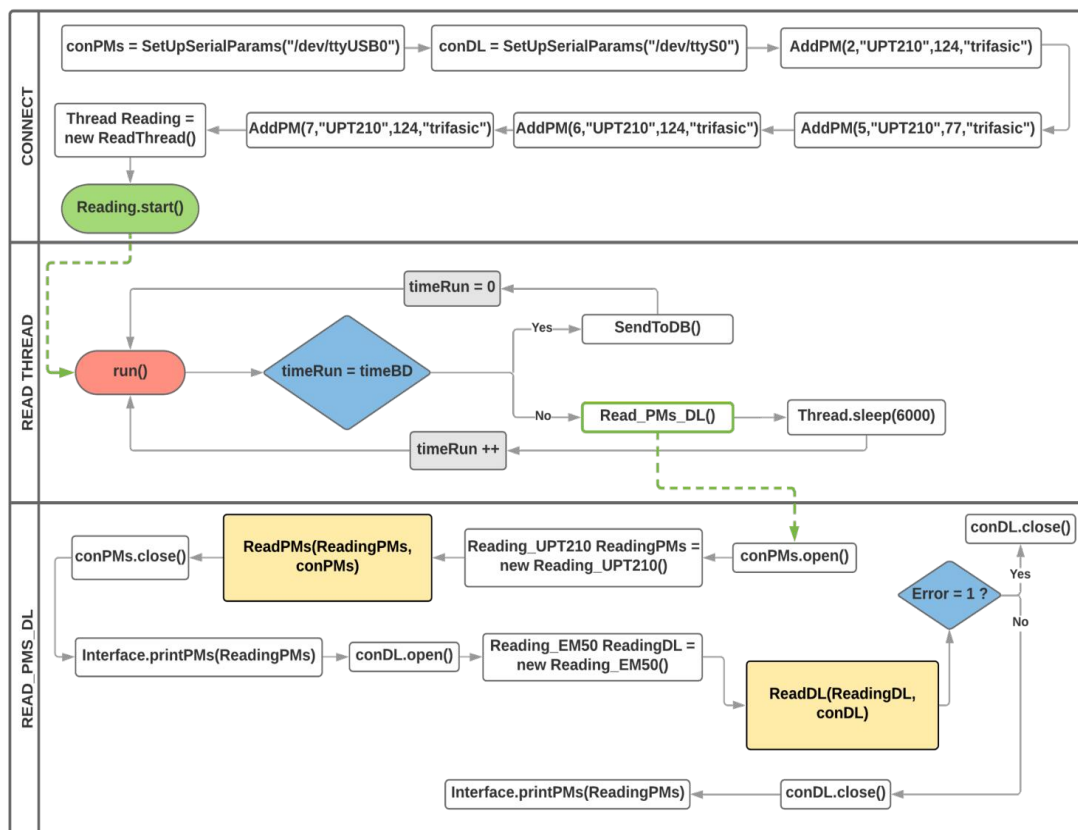


Figura 4.23 - Fluxograma da função connect

Inicialmente, começa-se por criar duas conexões série: uma para comunicar com os analisadores de energia (PM's) e outra para comunicar com o datalogger (DL). Em ambas as conexões são definidos os parâmetros da comunicação, nomeadamente o *baud rate* igual a 9600 bits/s, o numero de bits da mensagem igual a 8 bits, o bit de paridade, que não é utilizado, o stop bit, que é utilizado, e o nome da porta que no caso dos PM's é a porta /dev/ttyUSB0 e no caso do DL é a porta /dev/ttyS0. De seguida, adicionam-se os PM's a uma lista que contém os PM's cujos dados serão recolhidos, neste caso são quatro: o analisador de energia do QGBT, o do sistema AVAC, o da geração de energia fotovoltaica e o de geração de energia eólica. Por fim, é criada e iniciada uma nova *thread* designada de Reading que irá correr em *loop* infinito que termina quando o operador da instalação terminar a execução do programa.

Ao iniciar a *thread* Reading, é avaliado se *timeRun* é igual a *timeBD*, onde *timeRun* é igual à iteração da *thread* e *timeBD* é igual a 30. Se *timeRun* for igual a *timeBD*, as médias das leituras armazenadas são enviadas para a base de dados. Caso contrário, será feita uma nova leitura em tempo real aos PM's e ao DL. Após estas leituras, a *thread* aguarda 6 segundos até voltar a correr. Uma vez o tempo que decorre entre duas leituras em tempo real consecutivas é 24 segundos, estes

6 segundos servem para perfazer um total de 30 segundos entre leituras consecutivas.

A função encarregue de realizar a comunicação com os PM's e com o DL começa por tentar abrir a porta serie associada aos PM's. De seguida cria uma nova estrutura para armazenar as leituras dos PM's e efetua então a leitura dos dados recolhidos dos 4 analisadores de energia. Por fim, fecha a conexão aos PM's e mostra ao utilizados os dados lidos em tempo real. Analogamente para o DL, de seguida é feita uma tentativa de abrir a conexão e é também criada uma nova estrutura para armazenar as leituras dos dados recolhidos do DL. Ao executar a função que faz as leituras do DL, caso a leitura seja feita com sucesso, é fechada a conexão e por fim são apresentados os resultados da leitura ao utilizador. Por outro lado, se ocorrer um erro na leitura, apenas é fechada a conexão.

Na figura 2.24 apresenta-se o fluxograma da função ReadPMs que faz a leitura em tempo real dos dados dos analisadores de energia.

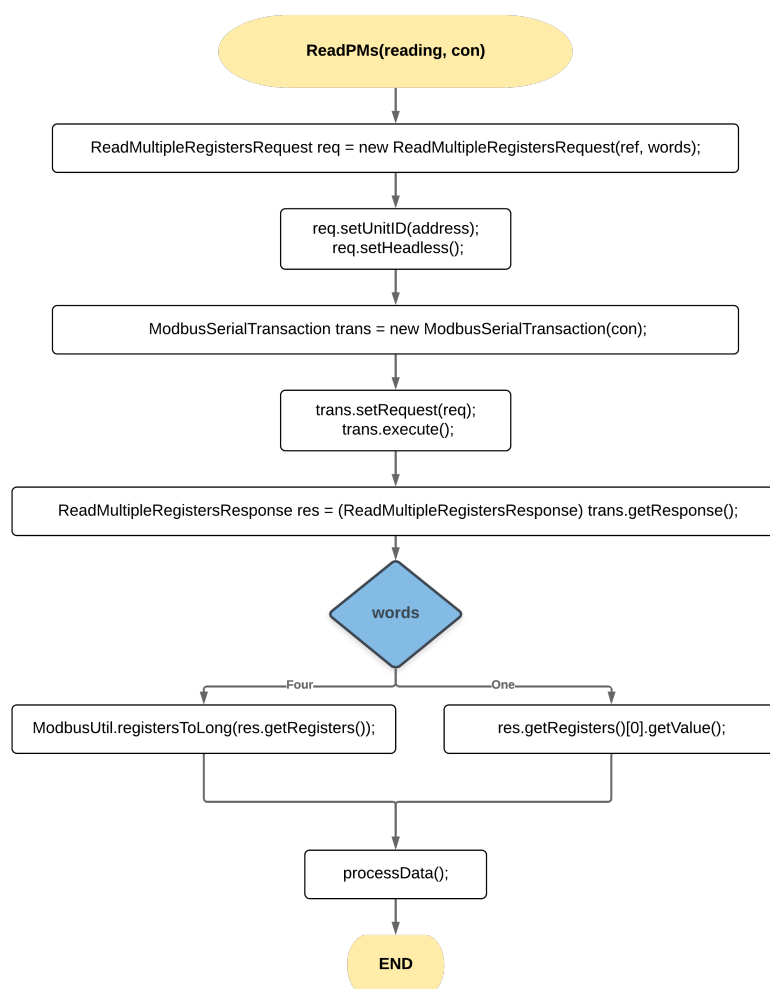


Figura 4.24 - Fluxograma da função ReadPMs

A função ReadPMs, que realiza a leitura dos dados dos analisadores de energia, lê os parâmetros apresentados na tabela 4.2, onde, para cada parâmetro existe uma referência que é necessária para fazer o pedido de leitura. De seguida descreve-se o funcionamento da função para ler individualmente cada parâmetro (com a referência “ref”) de cada analisador de energia (com o endereço *address*).

Inicialmente, é feito um pedido de leitura de registos com a referência do parâmetro a ler e com o número de *words* a serem lidas. De seguida, o endereço do PM a ler é atribuído ao pedido de mensagem modbus e é ativada a *flag* que marca esta mensagem como *headless* (para o transporte serie). É criada também uma transação modbus, que recebe a instância de conexão TCP Master e de seguida o pedido modbus (cuja referência é passada como parâmetro) é aplicado a essa transação. Esta transação é então executada onde é bloqueado o transporte modbus para ser enviada a solicitação e ler a mensagem modbus. Por fim, é obtida a resposta modbus associada a esta transação modbus.

No caso de alguns parâmetros dos analisadores de energia, como o modelo e o endereço, os seus registos são compostos apenas por uma *word* (16 bits), enquanto que todos os outros parâmetros são compostos por registos de quatro *words*. Portanto, no caso dos registos de uma *word*, o valor é obtido diretamente da resposta, enquanto que no caso dos registos de quatro *words*, é feita uma conversão para um *long*. Finalmente, depois obtida a resposta, a leitura ao parâmetro do PM é guardada na estrutura de leituras e, após várias leituras, é realizada a média de cada parâmetro.

Analogamente à função que realiza a leitura dos dados dos analisadores de energia, como já referido, a função ReadDL realiza a leitura dos dados meteorológicos. A figura 4.25 apresenta o fluxograma desta função.

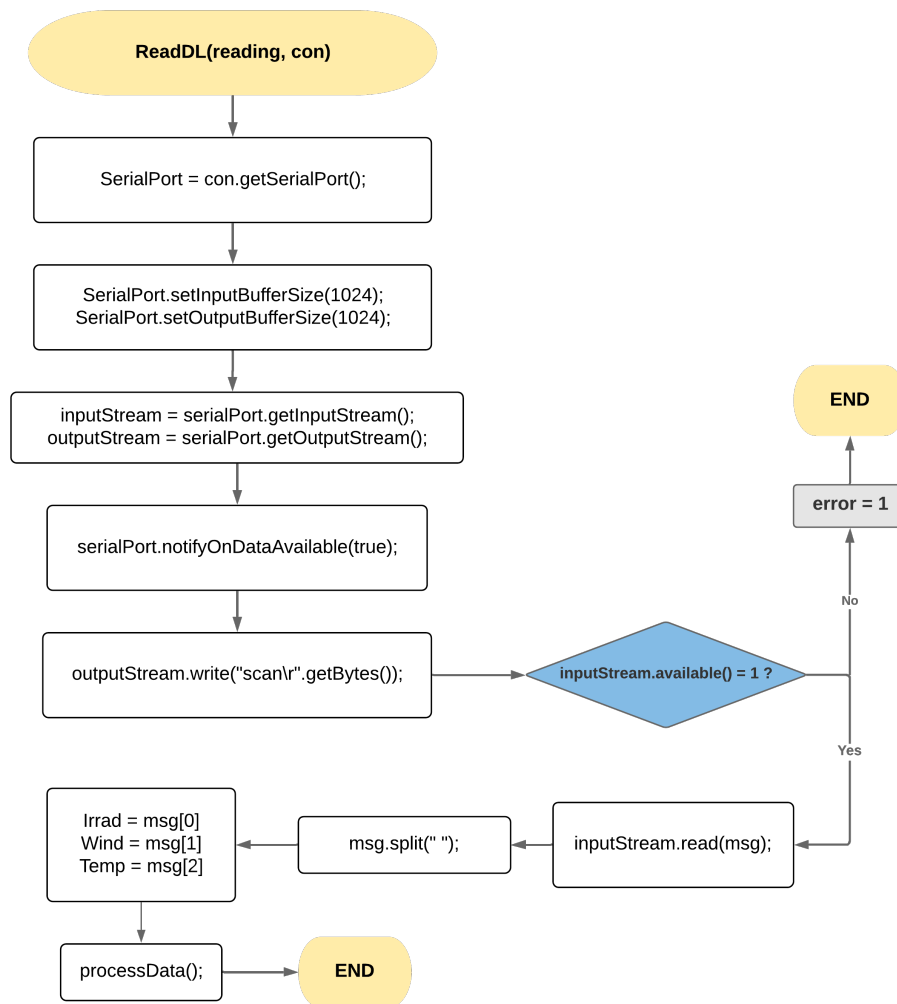


Figura 4.25 - Fluxograma da função ReadDL

Inicialmente, é obtida a porta série associada à conexão estabelecida com o DL e é aplicado o tamanho de 1024 bits aos buffers de input e output dessa mesma porta. De seguida, são definidas as *streams* de input e de *output* associadas à porta série. É ainda executada uma função que informa que tem interesse em receber uma notificação quando os dados estiverem disponíveis para leitura. Por fim, é então feito o pedido de leitura de dados ao DL, através do comando *scan* e, após aguardar um segundo, caso não seja possível obter resposta do DL, é ativada uma *flag* de erro e a rotina termina. Caso a mensagem do DL esteja disponível para leitura, é feita a leitura da mensagem, que será separada de forma a obter os 3 parâmetros do DL (dados da temperatura, irradiância e vento), e por fim, estes dados serão processados, terminando assim esta rotina.

No processamento da mensagem recebida do *datalogger*, cujo formato já foi apresentado na figura 4.6, os valores lidos pelos sensores são convertidos do formato *raw* para *double*, consoante a calibração de cada sensor e de forma a obter as unidades de medida desejadas. Na tabela 4.12, encontram-se as informações

acerca do processamento dos valores lidos por cada sensor, entre elas as equações que permitem converter os valores lidos em formato *raw*, onde a equação 2 converte o valor da irradiância para W/m², a equação 3 converte o valor da temperatura para °C e a equação 5 converte o valor da velocidade do vento para m/s.

Tabela 4.12 - Parâmetros associados aos valores lidos pelos sensores

Parâmetro	Piranómetro	Termómetro	Anemómetro
Número do porto	1	2	3
Valor RAW	RAW 1	RAW 2	RAW 3
Formato RAW	Valor de 16 bits	Valor de 16 bits	Valor de 32 bits ¹
Intervalo de valores RAW	De 0 a 956	De 5 a 4090	-
Expressão de conversão	eq. (2)	eq. (3)	eq. (5)

$$Irradiância (W/m^2) = RAW1 \times \frac{1500}{4096} \times 5 \quad (2)$$

$$T (°C) = 25,01914 + x \times (-22,8437 + x \times (1,532076 + (-0,08372 \times x))) \quad (3)$$

Onde x é dado pela expressão 4.

$$x = \ln\left(\frac{4095}{RAW2} - 1\right) \quad (4)$$

$$Wind = \frac{1,006 \times (deci - pulsos)}{10} \quad (5)$$

Relativamente ao armazenamento dos dados recolhidos na base de dados, o modo como o envio dos dados é feito encontra-se esquematizado na figura 4.26 que corresponde ao fluxograma da função SendToDB.

¹ Bit 0 (menos significativo): Detecção do sensor

Bits de 1 a 9: Direção do vento em graus

Bits de 10 a 19: Rajadas de vento em deci-pulsos/s

Bits de 20 a 29: Velocidade média do vento em deci-pulsos/s

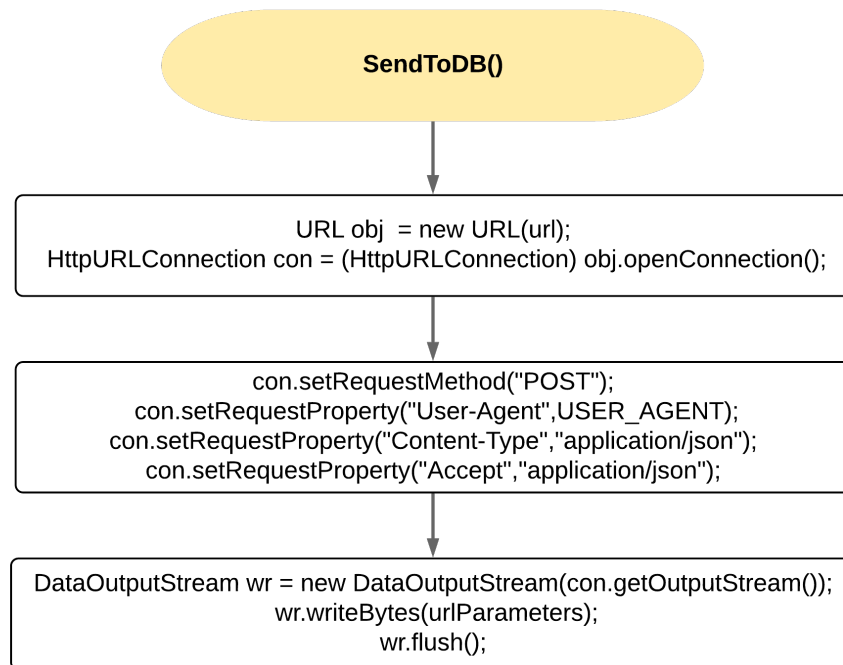


Figura 4.26 - Fluxograma da função SendToDB

A função SendToDB começa por criar um novo objeto que corresponde ao URL da base de dados e respetivo servidor. De seguida, cria uma nova conexão HTTPURL sobre o objeto criado e aplica algumas propriedades a essa conexão, nomeadamente o método (POST) e as propriedades (*user-agent*, *content-type* e *accept*). A essa conexão é ainda adicionado um *timeout* de 0,5 segundos de forma a que, caso não seja possível estabelecer conexão com o servidor, o sistema pare de tentar obter uma resposta e prossiga para as próximas instruções. Caso consiga estabelecer conexão com o servidor, obtém a *stream* de *output* associada à conexão estabelecida com a base de dados e escreve nesta os parâmetros associados à leitura a guardar (que, por sua vez, corresponde a uma média das leituras realizadas nos últimos 15 minutos). Note-se que este procedimento é feito tanto para os dados médios recolhidos do *datalogger* como dos analisadores de energia.

Ao nível da interface com o utilizador, de forma a mostrar os dados recolhidos em tempo real através do *display* anteriormente referido, foi desenvolvida uma aplicação cujo *design* se encontra ilustrado na figura 4.27. A aplicação possui um *tab* com quatro páginas. A primeira página tem o propósito de mostrar os dados relativos à energia ativa e reativa recolhidos pelos sistemas de produção e de consumo de energia (figura 4.27 a). A segunda página serve para mostrar os dados relativos ao consumo do DEEC, onde constam parâmetros como a tensão, corrente e potência em cada uma das três fases do QGBT e do sistema AVAC (figura 4.27 b). A terceira página pretende mostrar os dados

relativos à produção de energia renovável, indicando a tensão, corrente e potência dos sistemas monofásicos associados à geração solar e eólica (figura 4.27 c). Por fim, a quarta página tem como objetivo mostrar os dados meteorológicos (figura 4.27 d).

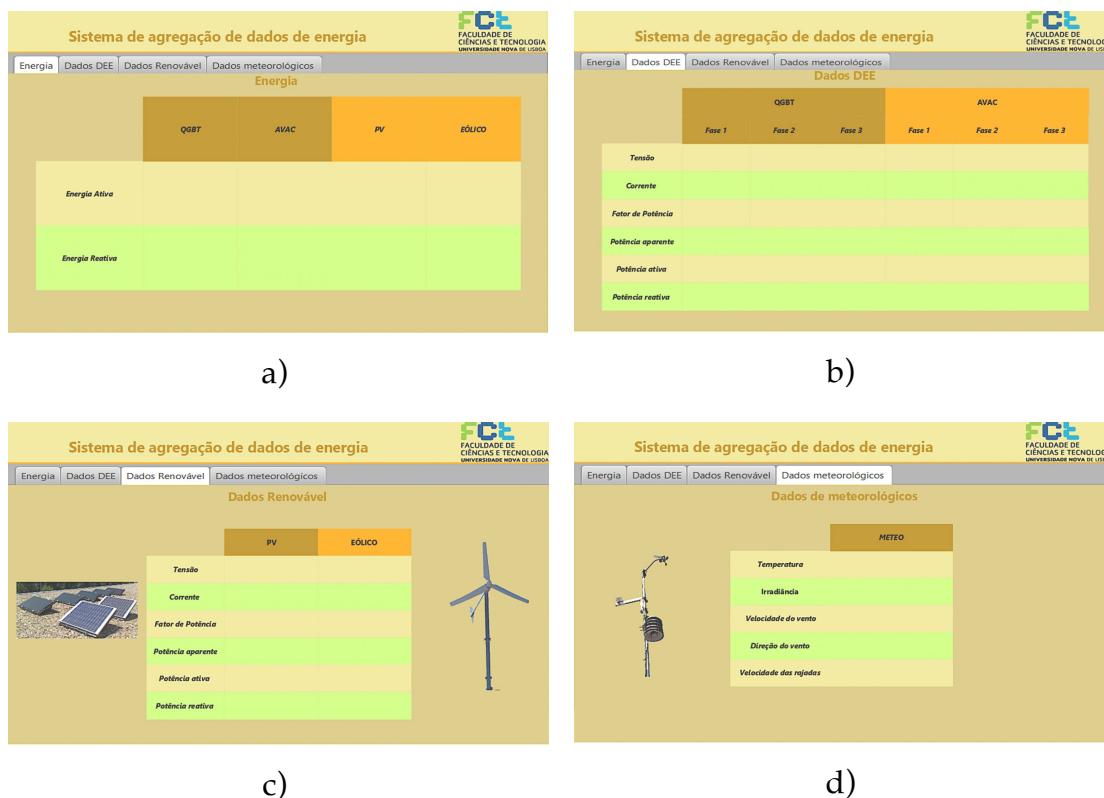


Figura 4.27 - Interface gráfica da aplicação desenvolvida; a) Energia; b) Dados DEEC; c) Dados Renovável; d) Dados meteorológicos

A interface da aplicação foi desenvolvida com recurso ao *software SceneBuilder* que incorpora a interface criada na aplicação javaFX.

4.3. Sistema autónomo de alimentação do *datalogger*

Esta parte do projeto consiste no dimensionamento um sistema autónomo de alimentação do datalogger, que substitui as cinco pilhas alcalinas do tipo AA que o datalogger da *Decagon* vem preparado para receber.

Na figura 4.28 encontra-se ilustrado, conceptualmente, o sistema autónomo de alimentação do datalogger, onde se destaca o painel fotovoltaico, para

converter energia solar em energia elétrica, o MPPT, para obter o máximo de potência, uma bateria para armazenar energia e um conversor *boost* para aumentar o nível de tensão.

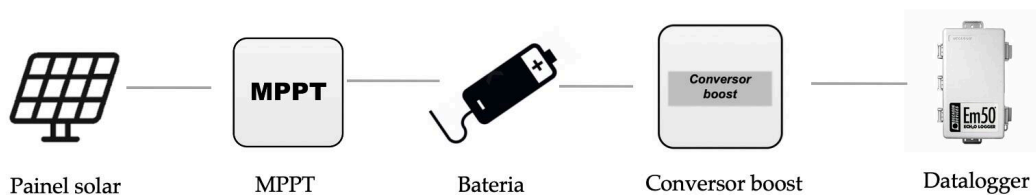


Figura 4.28 – Modelo conceptual do sistema de alimentação autónoma do datalogger

Na figura 4.29 apresenta-se o esquema de ligação dos componentes do sistema autónomo de alimentação do *datalogger*, onde se apresentam os componentes escolhidos para desempenhar cada uma das funções necessárias. Note-se que, apesar de ser suficiente um conversor *boost* para integrar o sistema autónomo de alimentação do *datalogger* (uma vez que o objetivo é obter uma tensão superior, partindo de uma tensão inferior) foi utilizado um conversor *buck boost*, uma vez que era um dos disponíveis do mercado, que permitia regular a tensão de saída para o valor pretendido, recorrendo à tensão de entrada da bateria que também está dentro dos limites de operação do conversor.

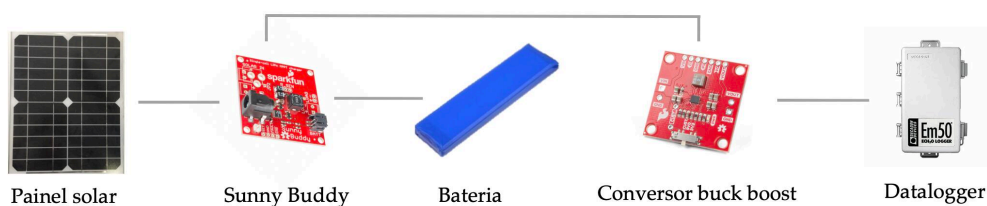


Figura 4.29 – Esquema de ligação dos componentes do sistema de alimentação autónoma do *datalogger*

Partindo do esquema de ligação dos componentes apresentado na figura 4.29, apresenta-se de seguida cada componente utilizado e as suas características.

O painel solar utilizado encontra-se ilustrado na figura 4.30.

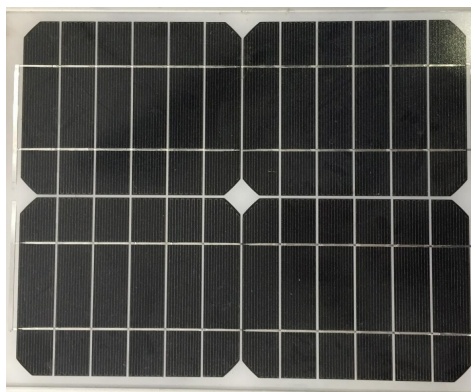


Figura 4.30 - Paine solar

Na tabela 4.13 encontra-se as especificações deste paine solar, em condições STC (1000 W/m², AM 1.5, 25 °C).

Tabela 4.13 - Especificações do paine solar

Especificação	Valor
Potência máxima	20 W
Tensão máxima	12 V
Corrente máxima	1.67 A
Tensão de circuito aberto	14,5 V
Corrente de curto-circuito	1,82 A

O MPPT utilizado foi o modelo *Sunny Buddy* da *Sparkfun* (figura 4.31) como carregador monolítico de bateria e que opera com valores de tensão de entrada entre 4,95 V e 32 V. Permite a ligação de um paine solar, como *input*, onde a tensão de saída ideal está entre 6 V e 20 V.



Figura 4.31 - MPPT Sunny Buddy da Sparkfun (Fonte: www.sparkfun.com)

Na tabela 4.14 encontra-se as especificações deste MPPT.

Tabela 4.14 - Especificações do MPPT Sunny Buddy da Sparkfun

Especificação	Valor
Temperatura de operação	De -40°C a +125°C

Quanto à bateria inserida no sistema, corresponde ao modelo LP6535134 da CELLEVIA BATTERIES (figura 4.32) e possui uma tensão nominal de 3,7V, uma capacidade de 7400 mAh e um ciclo de vida de 300 ciclos (um ciclo refere-se a um período de carga e descarga).



Figura 4.32 - Bateria CELLEVIA BATTERIES modelo LP6535134 (Fonte: www.botnroll.com)

Na tabela 4.15 encontra-se algumas especificações extra da bateria.

Tabela 4.15 - Especificações da bateria VELLEVIA BATTERIES modelo LP6535134

Especificação	Valor
Temperatura de operação (carga)	De 0°C a +43°C
Temperatura de operação (descarga)	De -10°C a +55°C
Impedância	32 mΩ
Tipo de conector	JST SYP-02T-1 + socket (2.54 mm × 2 pins)

Relativamente ao conversor *buck boost* utilizado, foi escolhido o modelo TPS63070 da *Texas Instruments* (figura 4.33).

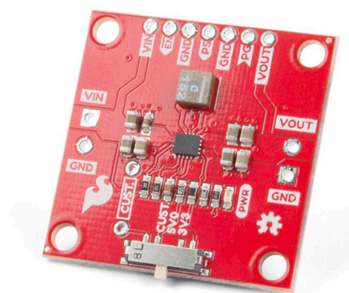


Figura 4.33 – Conversor *buck boost*

Na tabela 4.16 encontra-se algumas especificações extra da bateria.

Tabela 4.16 - Especificações do boost converter

Especificação	Valor
Temperatura de operação (carga)	De -40°C a +125°C
Tensão de entrada	De 3 V a 16 V
Tensão de saída (ajustável)	De 2,5 V a 9 V
Eficiência	Até 95%

Com base nos componentes escolhidos, procedeu-se ao dimensionamento do sistema autónomo de alimentação do *datalogger*, que se apresenta-se de seguida.

Uma vez que o *datalogger* era alimentado por um conjunto de 5 pilhas alcalinas do tipo AA, e que cada uma possui uma tensão de alimentação de 1,5 volt, o *datalogger* precisa de uma tensão de alimentação de 7,5 volt. Dado que a bateria possui um nível de tensão de 3,7 volt, é necessário um conversor *boost* para aumentar a tensão de 3,7 volt para 7,5 volt. Para assegurar os 7,5 volt, é também necessário introduzir uma resistência de 570 kΩ. Este valor foi calculado através da equação 6 (*datasheet* do conversor *buck boost*).

$$R_1 = R_2 \times \left(\frac{V_{out}}{0,8} - 1 \right) \quad (6)$$

Onde R_1 é o valor da resistência para assegurar a tensão V_{out} e R_2 é o valor da resistência do conversor *buck boost*.

Relativamente ao dimensionamento da bateria, a sua capacidade foi calculada com base na expressão 7.

$$Capacidade (mAh) = consumo (mA) \times tempo (h) \quad (7)$$

Para o cálculo da capacidade da bateria, tem de se ter em conta o consumo do datalogger que, por sua vez, não é constante, uma vez que depende da taxa de aquisição, pois gasta mais energia quando está a recolher dados do que quando está em *standby* e depende da quantidade de sensores que a ele estão ligados. Deste modo, ao projetar-se a bateria, considera-se o pior caso, ou seja, o caso onde o consumo é maior, e considera-se a aquisição de dados constante. Assim, considerou-se como pior caso uma corrente de consumo de 15 mA e um tempo de 24 horas, dado que a bateria tem de conseguir alimentar o datalogger durante a noite e os períodos de pouco sol. Assim, tendo em conta a equação 7, obteve-se uma capacidade de 360 mAh. Note-se que a bateria disponível para o projeto possuía uma capacidade de 7400 mAh (muito superior aos 360 mAh desejados). Assim, poderá fazer-se o cálculo inverso para estimar o tempo que a bateria dura sem ser carregada, obtendo um valor de, aproximadamente, 493 horas. Observe-se que este valor é aceitável, tendo em conta que as 5 pilhas AA que originalmente alimentavam o datalogger possuem uma capacidade inferior a 2000 mAh e, como observado, duram vários dias sem serem substituídas.

5

Resultados

Neste capítulo apresentam-se os resultados obtidos, resultantes da implementação do projeto desenvolvido, descrito no capítulo 4. Numa primeira análise aos resultados obtidos, é apresentado o *output* da aplicação desenvolvida, que mostra em tempo real os dados recolhidos. Numa segunda abordagem, os dados obtidos são apresentados através de gráficos, com o objetivo de visualizar e relacionar os dados meteorológicos e os dados de produção e consumo de energia recolhidos.

5.1. Resultados da aplicação em tempo real

Durante a execução da aplicação apresentada no capítulo 4, num determinado instante de tempo, foi recolhido o output da aplicação cuja interface se encontra na figura 4.32 e que apresenta os dados em tempo real recolhidos pelos analisadores de energia e pelo *datalogger*.

O resultado do output da aplicação, recolhido no dia 2 de Agosto às 18h18m, encontra-se ilustrado na figura 5.1, onde se apresentam os vários *tabs*, consoante a natureza dos dados recolhidos. Apresenta-se, na figura 5.1 a) os dados acerca da energia ativa e reativa associada ao consumo geral do edifício (QGBT), consumo do sistema AVAC e à microgeração de energia solar e eólica. Na figura 5.1 b) apresenta-se a tensão, corrente, fator de potência e potência ativa, reativa e aparente para cada uma das três fases do QGBT e do sistema AVAC. Na figura 5.1 c) encontra-se os resultados obtidos para a tensão, corrente, fator de potência e potência ativa, reativa e aparente dos sistemas de microgeração de energia solar e eólica. Na figura 5.1 d) apresenta-se os resultados obtidos para a temperatura, irradiância, velocidade e direção do vento e velocidade das rajadas.

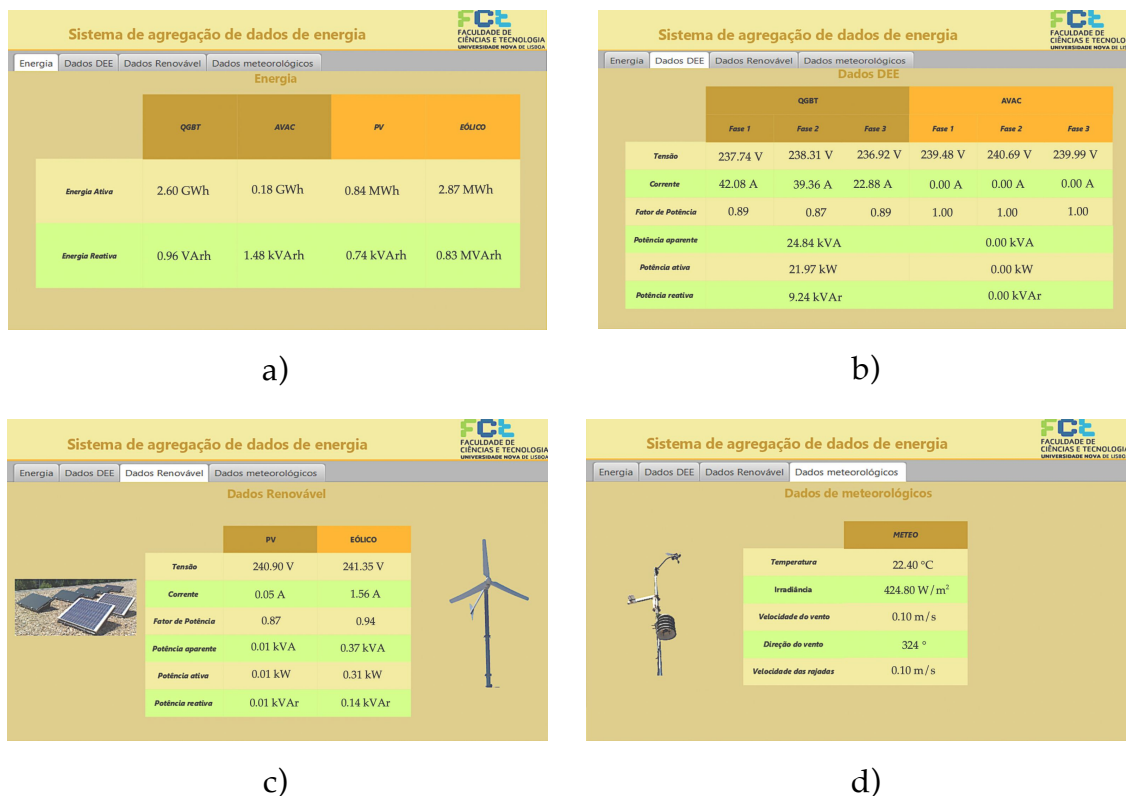


Figura 5.1 – Resultados em tempo real da aplicação desenvolvida; a) Energia; b) Dados DEEC; c) Dados Renovável; d) Dados meteorológicos

5.2. Análise dos dados recolhidos

Como referido anteriormente no capítulo 4, o sistema desenvolvido não só apresenta os dados lidos em tempo real, como também armazena os dados recolhidos num sistema de gestão de bases de dados. O histórico dos dados recolhidos pelos analisadores de energia e pelo datalogger podem ser consultados pelos utilizadores com acesso autorizado à base de dados.

Fazendo uma análise à semana de 09/09/2019 (segunda-feira) a 15/09/2019 (domingo), obteve-se o comportamento apresentado nas figuras 5.2 e 5.3, onde se apresenta o consumo e a produção de energia ao longo desses dias, respetivamente.

Relativamente ao consumo de energia durante a referida semana, observa-se um comportamento periódico do mesmo ao longo dos dias, onde se destaca a curva característica do funcionamento do sistema AVAC, apresentado mais à frente na figura 5.5. Note-se ainda que, no fim de semana, o sistema AVAC esteve

desligado e, por isso, o consumo de energia no edifício manteve-se aproximadamente constante nesses dias, como se pode observar na figura 5.2.

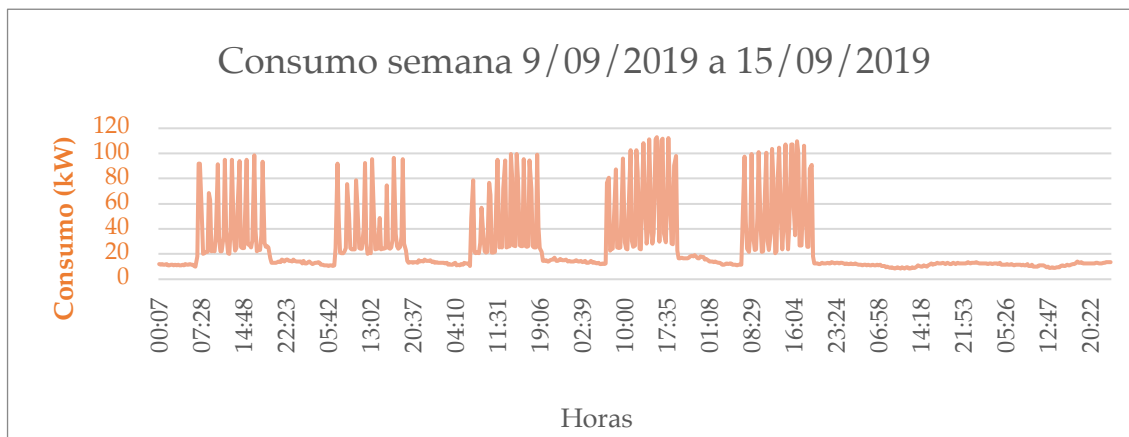


Figura 5.2 – Consumo de energia durante a semana de 9 a 15 de setembro

Relativamente à produção de energia durante a semana considerada, observa-se, por análise da figura 5.3, que se verifica um comportamento periódico relativamente à produção de energia elétrica a partir da energia solar. O mesmo já não se observa para o caso da produção de energia elétrica a partir de energia eólica, pois a velocidade do vento não é constante ao longo dos dias da semana, para cada hora do dia.

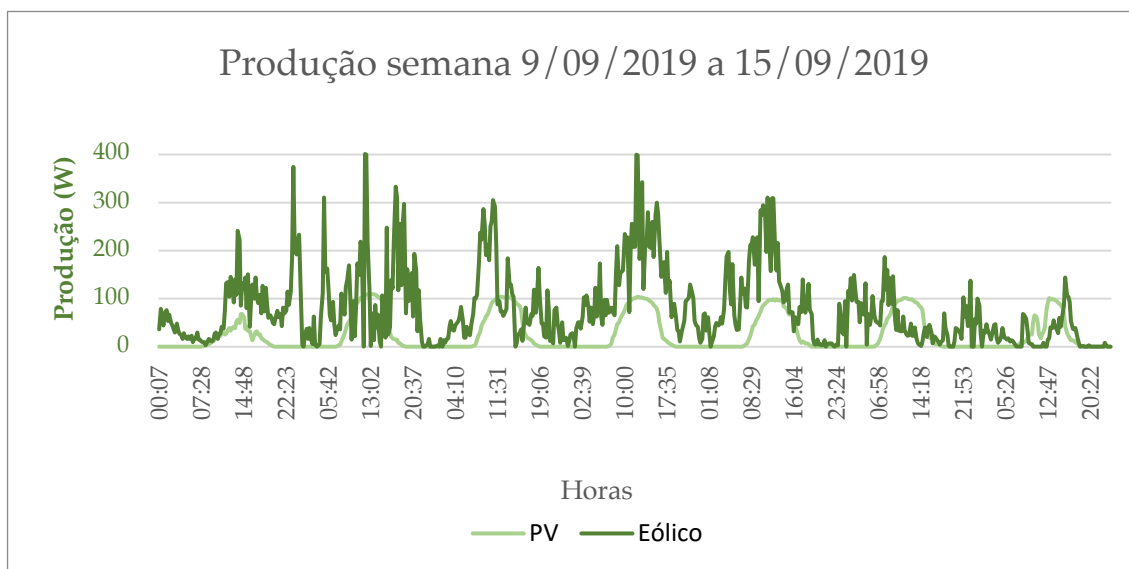


Figura 5.3 - Produção de energia durante a semana de 9 a 15 de setembro

Partindo dos resultados recolhidos pelo sistema desenvolvido ao longo do dia 8 de Agosto de 2019, construíram-se alguns gráficos de forma a visualizar e

concluir acerca do comportamento do consumo e produção face a diferentes condicionantes.

Na figura 5.4, apresenta-se o gráfico que mostra a produção e o consumo de energia ao longo do dia 8 de Agosto. Note-se que, devido ao facto de o sistema de produção de energia renovável ser um sistema de microgeração, a produção e o consumo apresentam diferentes escalas, pois o consumo face à produção é muito superior. Note-se ainda que a produção engloba a produção de energia solar fotovoltaica e de energia eólica e o consumo de energia engloba o consumo do QGBT e do sistema de AVAC.

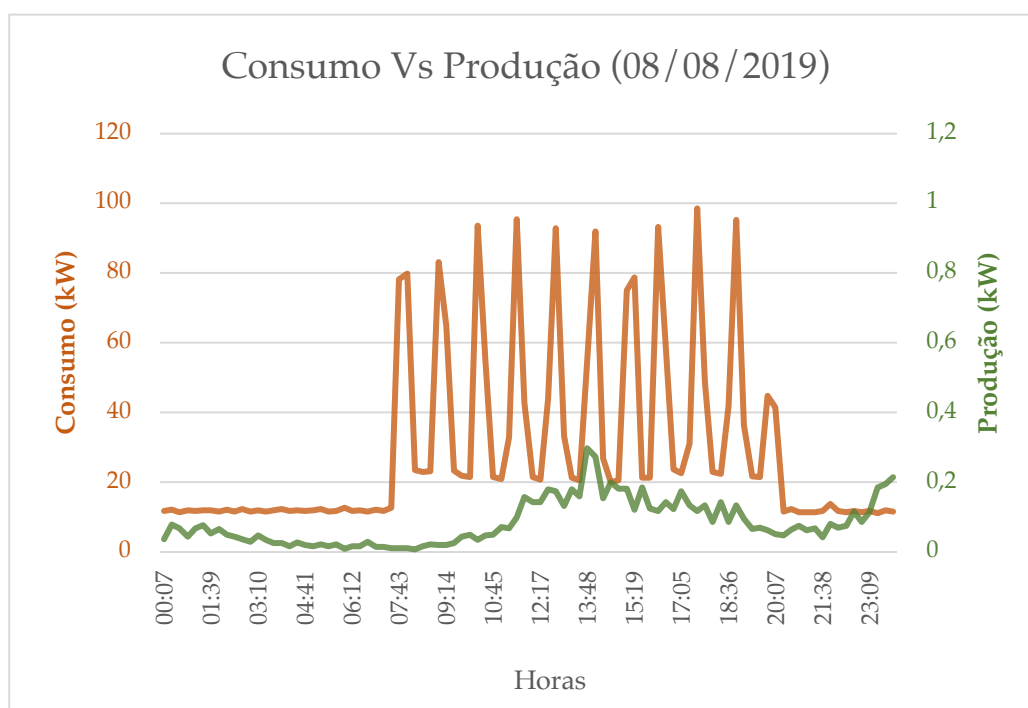


Figura 5.4 - Consumo Vs produção (08/08/2019)

Ao analisar o gráfico da figura 5.4, observa-se que os picos de consumo se verificam quando o sistema AVAC está a funcionar. Para provar esta afirmação, apresenta-se, na figura 5.5, o gráfico do consumo do AVAC ao longo do dia 8 de Agosto.

Observa-se ainda que os períodos de maior consumo de energia correspondem ao horário no qual o edifício do DEEC se encontra mais ativo, nomeadamente durante o dia.

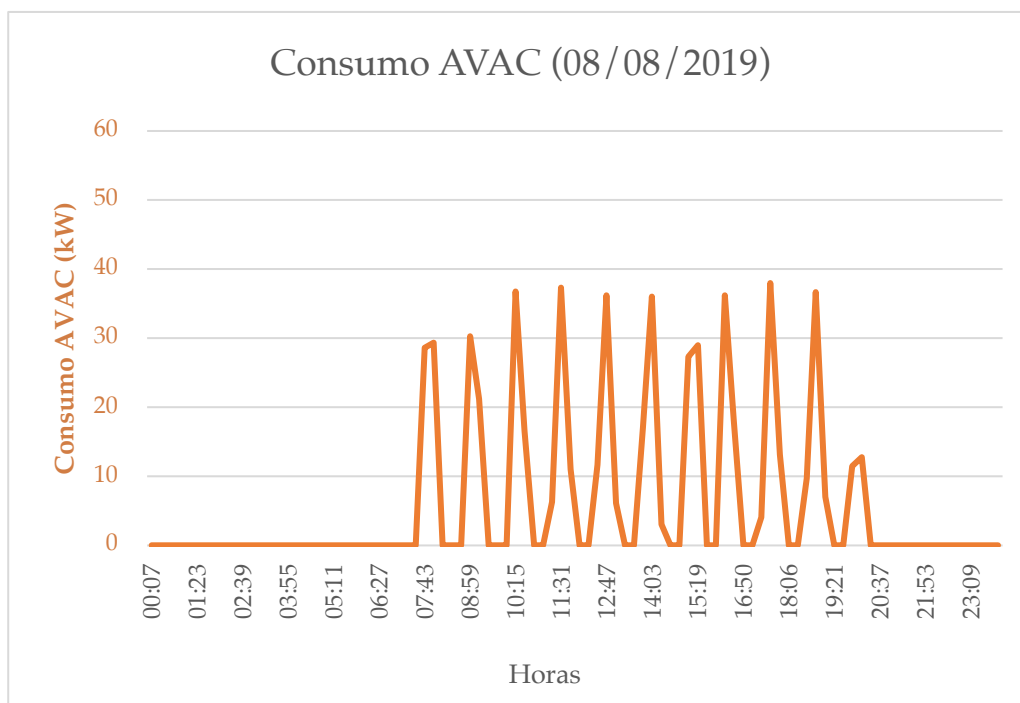


Figura 5.5 - Consumo AVAC (08/08/2019)

Na figura 5.6 apresenta-se o gráfico que mostra a temperatura ambiente e a produção de energia solar, de forma a verificar como a produção de energia solar fotovoltaica varia com a temperatura, neste dia.

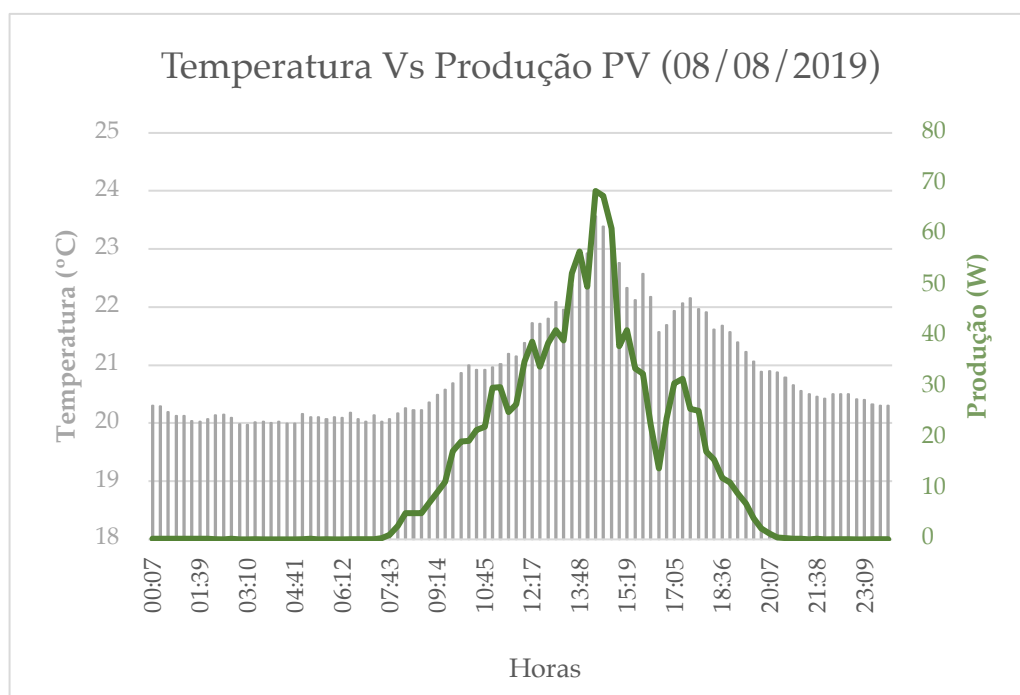


Figura 5.6 - Temperatura Vs produção de energia solar (08/08/2019)

Por análise do gráfico apresentado na figura 5.6, observa-se que, em grande parte do tempo, a produção de energia solar acompanha o aumento de temperatura. Observa-se ainda que a produção de energia solar é maior durante o horário diurno, como seria expectável.

De forma a concluir também acerca da influência da irradiância na produção de energia solar, construiu-se o gráfico que se apresenta na figura 5.7.

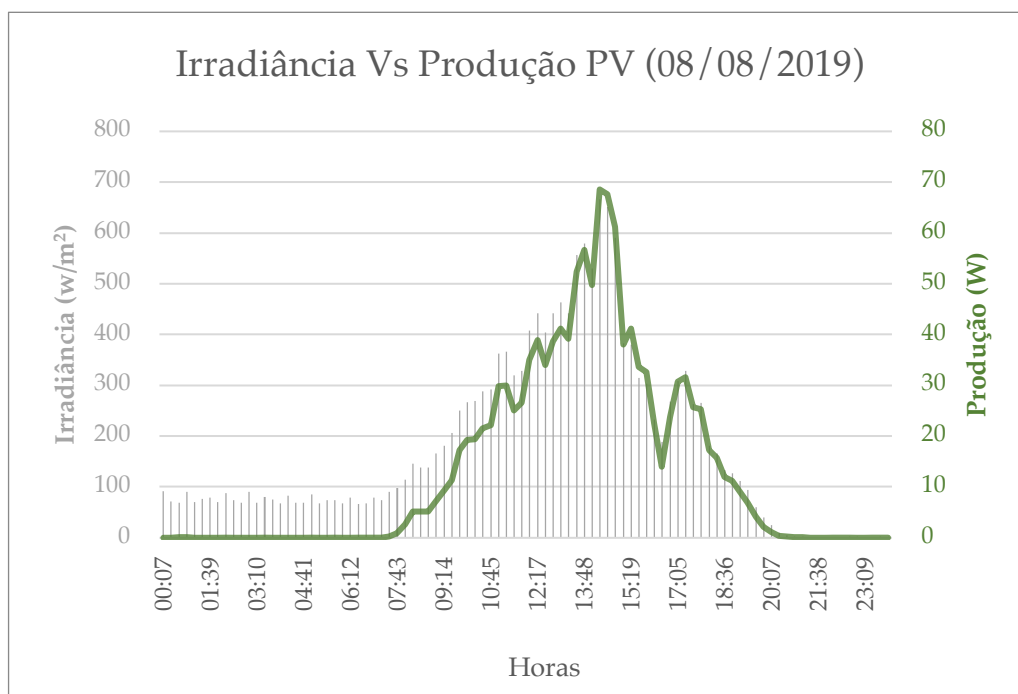


Figura 5.7 - Irradiância Vs produção de energia solar (08/08/2019)

Por análise do gráfico obtido, observa-se que a produção de energia solar acompanha a irradiância. Note-se ainda que, comparando os gráficos apresentados nas figuras 5.6 e 5.7, observa-se que a irradiância é uma característica mais pertinente do que a temperatura para a produção da energia solar, uma vez que a curva de produção de energia acompanha melhor o comportamento da irradiância do que da temperatura.

Relativamente à produção de energia eólica, não foi possível analisar todas as características recolhidas pelo sistema, uma vez que o anemómetro da estação meteorológica não se encontrava a funcionar corretamente e por isso não foi possível efetuar a medição da velocidade do vento. Contudo, realizou-se a análise da produção de energia eólica consoante a direção do vento para o dia 8 de agosto. Na figura 5.7 apresenta-se o gráfico que relaciona a direção do vento com a produção de energia eólica.

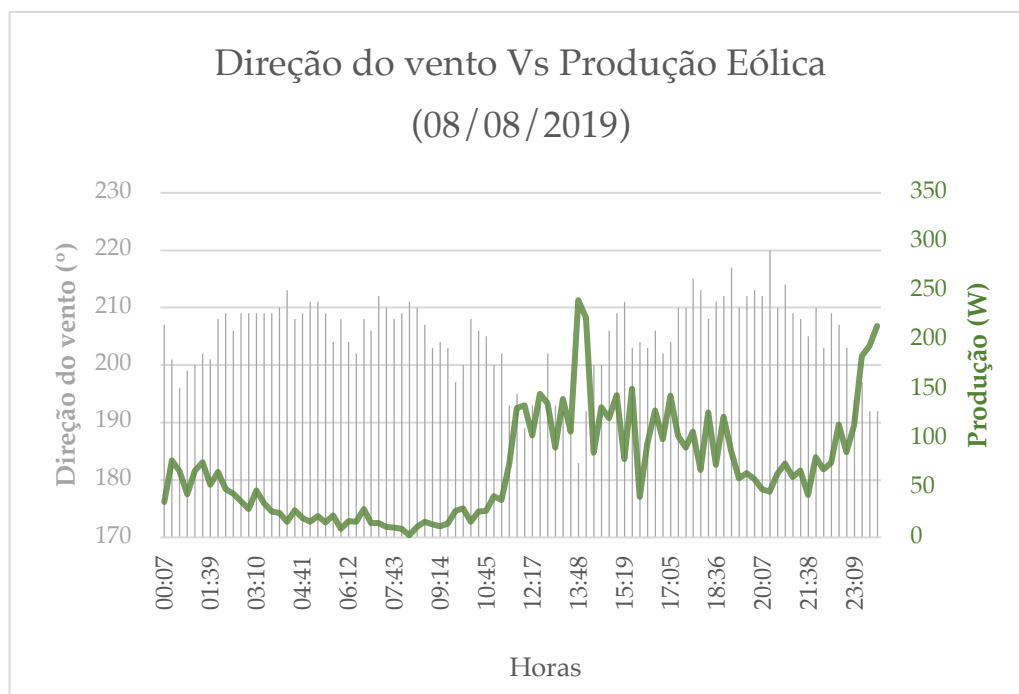


Figura 5.8 - Direção do vento Vs produção de energia eólica (08/08/2019)

Note-se que o gerador eólico não é fixo em direção e tem a possibilidade de rodar consoante a direção do vento, o que diminui o impacto da mudança de direção.

Observando o gráfico da figura 5.8, observa-se que o pico de produção de energia eólica corresponde ao instante em que a direção do vento atinge os 180°, aproximadamente. Efetivamente, a produção de energia foi superior quando se verificou um ângulo de direção do vento menor. Contudo, sem a informação acerca da velocidade do vento não se pode concluir que isso seja causa efeito na produção de energia, pois, no instante em que se verificou aquela direção, o vento podia apenas apresentar uma maior velocidade.

Por fim, na figura 5.9 apresenta-se o gráfico que compara a produção de energia solar com a produção de energia eólica, no dia 8 de Agosto. Como era de esperar, a produção de energia eólica foi superior à produção de energia solar, uma vez que a potência instalada, na geração eólica é 5 vezes superior à potência instalada na geração solar. Observa-se ainda que os picos de produção de energia em ambos os casos, se verificam em horários próximos e que, em ambos os casos, se verifica uma maior produção de energia durante o dia, o que, para o caso da energia solar é expectável. Já para o caso da energia eólica, existe a possibilidade de, noutro dia onde se tenha verificado mais vento, nomeadamente num dia de inverno, a produção de energia eólica noturna superar à produção de energia eólica diurna.

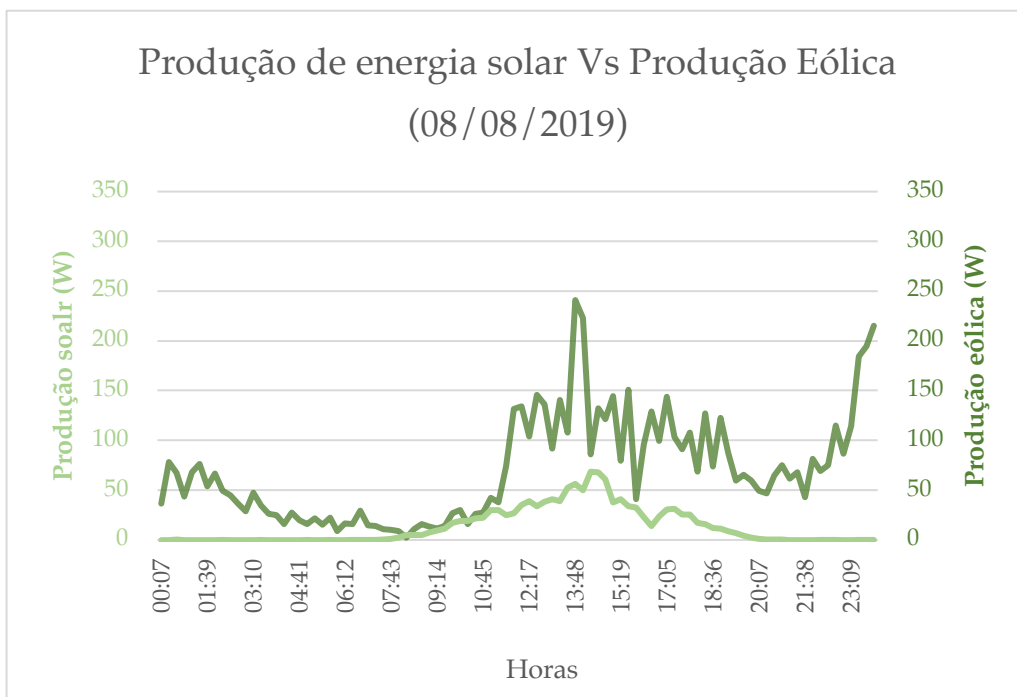


Figura 5.9 - Produção de energia solar Vs produção de energia eólica (08/08/2019)

6

Conclusão

Partindo da implementação de um sistema para recolha dos dados meteorológicos e dos dados de consumo e produção de energia provenientes de equipamentos instalados no edifício DEEC da FCT, foi construído um sistema capaz de dar aos utilizadores o acesso a esses dados, oferecendo-lhes assim a possibilidade de interagir com o sistema.

Como *input* do sistema desenvolvido, tomaram-se os dados de consumo e produção energética e os dados meteorológicos recolhidos pelos sistemas de medição. Com vista a construir um sistema de agregação de dados que permitisse a interação com os utilizadores num contexto de espaço e tempo real, inserindo-se assim no conceito de *Living Lab*, foi implementado um sistema que integra tecnologias para recolher, adquirir, agregar e mostrar ao utilizador os dados recolhidos em tempo real e em formato de histórico. Como *output*, obteve-se um sistema que se pode enquadrar no conceito de *Living Lab* e que permite que os utilizadores interajam com todo o sistema inserido no seu ambiente, uma vez que lhes oferece o conhecimento acerca do estado da produção e do consumo de energia e dos dados meteorológicos.

Assim, este projeto resultou na construção de um sistema cuja utilidade é não só oferecer ao utilizador a capacidade de monitorizar o comportamento do sistema de produção e consumo de energia do edifício, mas também permitir que, no futuro, este tome decisões que possam influenciar a produção e/ou o consumo de energia do edifício, de forma a otimizar a gestão de energia. O sistema possui ainda a capacidade de ser flexível de modo a adaptar as suas tecnologias consoante as necessidades dos utilizadores.

Ao longo da abordagem aos temas desta dissertação, começou-se por introduzir os conceitos chave e, de seguida, apresentou-se alguns projetos que se inserem no contexto de *Living Labs* e que vão ao encontro do âmbito do projeto

desenvolvido, de forma a obter uma visão geral de alguns exemplos do que já foi desenvolvido nesta área.

Para descrever o projeto desenvolvido, foi feita uma apresentação detalhada dos componentes do sistema, de forma a indicar as funcionalidades e características de cada componente, e uma descrição técnica da implementação prática do mesmo, de forma a explicar os passos seguidos para chegar ao resultado final.

Analisando o projeto desenvolvido, conclui-se que os objetivos iniciais foram atingidos. De uma forma geral, as metas inicialmente propostas para o projeto foram atingidas e foram ainda acrescentadas algumas funcionalidades extra, nomeadamente o desenvolvimento de uma aplicação interativa, que permite uma interação mais intuitiva entre o sistema e os utilizadores e que, por isso, acrescentam valor ao projeto desenvolvido.

Relativamente aos resultados obtidos, resultantes da análise de uma parte dos dados recolhidos pelo sistema desenvolvido, confirmou-se que as condições meteorológicas têm uma influência significativa na produção de energia elétrica. Com base nos dados meteorológicos provenientes do sol, observou-se que a irradiância solar apresenta uma influência significativa na produção de energia elétrica a partir de energia solar. Relativamente à produção de energia elétrica a partir de energia eólica, não foi possível relacioná-la com os dados meteorológicos provenientes do vento, devido a falhas no anemómetro. Apesar de existirem dados acerca da direção do vento, estes por si só não são suficientes para tirar conclusões, pois era necessário existir, em simultâneo, uma análise da velocidade do vento.

Observou-se ainda que a produção de energia elétrica é muito reduzida comparativamente ao consumo elétrico do edifício, o que já seria de esperar, uma vez que o sistema de produção de energia elétrica instalado é considerado um sistema de microgeração.

Como trabalhos futuros, poder-se-á testar e avaliar o efeito ativo dos utilizadores do sistema na gestão energética do edifício, recorrendo a experiências reais, onde o utilizador possa tomar decisões e agir no consumo de energia, através da análise e estudo dos resultados, com base no conhecimento oferecido pelos dados recolhidos. Assim, o facto deste projeto ter disponibilizado uma base de dados com a informação recolhida pelos sistemas de medição de dados de consumo e produção de energia e de dados meteorológicos, possibilita que, em projetos futuros, seja possível analisar os dados recolhidos para observar as condições de produção em várias alturas do ano, assim como relacionar a produção de energia elétrica a partir de fontes de energia renováveis com as condições meteorológicas. Poder-se-á também traçar alguns perfis de consumo do edifício do DEEC ao longo do ano.

Bibliografia

- [1] Stahlbrost, Anna, "Forming Future IT - The Living Lab Way of User Involvement", Doctoral Thesis, 2008
- [2] Eriksson, "State-of-the-art in utilizing Living Labs approach to user-centric ICT innovation – a European approach", article, 2005
- [3] Cubarenco, Natalia, "UTFPR-Living Lab: Estruturação de um Living Lab na Universidade Tecnológica Federal do Paraná- Campus Ponta Grossa", 2018
- [4] Integrid - Vision [online],
<https://integrid-h2020.eu/vision> [Acedido: 28/12/2018]
- [5] New R&D – Projeto Sensible [online],
https://rd-new.com/pt-pt/portfolio_page/sensible/ [Acedido: 8/01/2019]
- [6] EDP – Notícias EDP [online],
<https://www.edp.com/pt-pt/noticias/2018/07/03/projeto-sensible-permite-poupanca-de-300-euros-por-ano-na-eletricidade> [Acedido: 8/01/2019]
- [7] Bessa, Ricardo et. al., "Sensible Project: Évora Demonstrator Enabling Energy Storage and Energy Management Creating Value for Grid and Customers", CIRED Workshop, 2016
- [8] Sensible – Power Grid Architecture [online],
<https://www.projectsensible.eu/demonstrators/evora/> [Acedido: 8/01/2019]
- [9] H. N. Thaung, Z.M. Tun, H.M Tun, "Automatic Energy Control And Monitoring System For Building", International Journal of scientific & technology research, vol. 5, 2016
- [10] Universidade Federal do Rio de Janeiro– ZigBee [online],
https://www.gta.ufrj.br/grad/10_1/zigbee/topologias.html [Acedido: 18/01/2019]
- [11] ICP DAS – ZigBee Introduction [online],
http://www.icpdas.com/root/product/solutions/industrial_wireless_communication/wireless_solutions/zigbee_introduction.html [Acedido: 18/01/2019]

- [12] M. V. Moreno et al., "How can We Tackle Energy Efficiency in IoT Based Smart Buildings?", *sensors*, vol. 14, pp. 9582-9614, 2014 DOI:10.3390/s14069582
- [13] ZEB – Living Lab [online],
<http://www.zeb.no/index.php/en/laboratories> [Acedido: 05/02/2019]
- [14] F. Goia, L. Finocchiaro. A. Gustavsen, "The ZEB Living Laboratory at the Norwegian University of Science and Technology: a zero emission house for engineering and social science", *Passivhus Norden | Sustainable Cities and Buildings*, vol.7, pp. 1-10, 2015
- [15] The Nordig Page – This house in Norway produces more energy than it consumes [online],
<https://www.tnp.no/norway/panorama/4696-this-house-in-norway-produces-more-energy-than-it-consumes> [Acedido: 07/02/2019]
- [16] Sundararajan, Aditya et. al., "A survey of Protocol-Level Challenges and Solutions for Distributed Energy Resource Cyber-Physical Security", *Energies*, 11, 2018, Florida International University, Miami. DOI: 10.3390/en11092360
- [17] Z. Liposcak, M. Boskovic, "Survey of Smart Metering Communication Technologies", *Conference Paper*, 2013, Zagreb, Croatia. DOI: 10.1109/EUROCON.2013.6625160
- [18] Modicon. (1996). *Modicon Modbus Protocol Reference Guide*. North Andover: Modicon Inc [online],
http://modbus.org/docs/PI_MBUS_300.pdf [Acedido: 07/06/2019]
- [19] Modbus-IDA. (s.d.). *Modbus Application Protocol Specification V1.1b* [online],
http://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b.pdf [Acedido: 07/06/2019]